

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri

2020

Suvi Muurinen

SISÄILMASTOA KOSKEVAN LAINSÄÄDÄNNÖN KEHITYS 2010-LUVULLA

Suvi Muurinen

SISÄILMASTOA KOSKEVAN LAINSÄÄDÄNNÖN KEHITYS 2010-LUVULLA

Maankäyttö- ja rakennuslain laaja uudistustyö on käynnistetty 2010-luvun alussa. Eduskunta on vuonna 2013 vaatinut, että uudistuksessa on huomioitava aikaisempaa paremmin rakennusten terveellisyys. Terveellisyyden vaatimus kattaa myös rakennuksen sisäilmaston terveellisyyden käyttäjälleen. Sisäilmastoa koskevan lainsäädännön saamista aukottomaksi vaikeuttaa vastuiden jakautuminen kahden ministeriön, ympäristö- että sosiaali- ja terveysministeriön, alueille. Maankäyttö- ja rakennuslain uudistus on ajoitettu valmistuvaksi vuonna 2021.

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa lainsäädäntöön 2010-luvulla tehtyjä sisäilmastoa koskevia uudistuksia ja sitä, miten lakien ja asetusten avulla on pyritty puuttumaan sisäilmaongelmia aiheuttaviin rakentamisen laatuongelmiin. Työn tavoitteena ei ole osa-alueiden käsittely yksityiskohtaisesti vaan tavoitteena on tehdä aihepiiristä mahdollisimman kattava kokonaiskatsaus.

Lähdeaineistona tässä työssä käytetään lakeja, jotka on säädetty 2010-luvulla määrittämään hyvän sisäilman kriteerejä, rakenteiden suunnittelua ja rakentamisen käytäntöjä. Lisäksi tarkastellaan näiden lakien seurauksena kehitettyjä asetuksia, säännöksiä ja RT-kortiston kehitystä.

Vaatimukseen rakennusten terveellisyyden ja laadun parantamisesta on vastattu kehittämällä lainsäädäntöä seuraavasti: suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimusten kiristäminen, rakennusfysikaalisten suunnitelmien vaativuusluokkien määrittely, vastaavan työnjohtajan kelpoisuusvaatimuksien kiristäminen, rakennushankkeesta laadittavien suunnitelmien ja selvitysten määrittely, rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden suunnittelu, radontekninen suunnittelu ja ilmastoinnin suunnittelu. Sosiaali- ja terveysministeriö on päivittänyt lainsäädäntöä ja asetuksia sisäilman laadun, sisäilmamittausten ja raja-arvojen osalta. Myös kuntotutkijoiden pätevyysvaatimuksia on kiristetty ja kuntotutkimuksien sisältöä ja menetelmiä on tarkennettu ja yhdenmukaistettu.

ASIASANAT:

sisäilmasto, sisäilmaongelmat, maankäyttö- ja rakennuslaki, asumisterveys

Suvi Muurinen

DEVELOPMENT OF INDOOR CLIMATE LEGISLATION IN THE 2010S

The number of indoor climate problems in buildings has increased until the recent years. The problems often occur as health symptoms of building users. Indoor climate problems are mainly believed to be caused by moisture damage and mold, but these explain only part of the symptoms. In addition to microbes, there are numerous agents that pollute the indoor climate. The extent of the debt for repairs caused by poor indoor climate and buildings with indoor climate problems can be considered a public health problem and a national economic problem at the same time.

Indoor climate means the totality of physical, chemical and microbiological conditions that affect the well-being of people. Physical conditions include humidity, temperature, ventilation and noise. Chemical, in turn, refers to volatile organic compounds, formaldehyde, carbon monoxide and particulate pollutants.

An extensive reform on the Land Use and Construction Act was launched in the early 2010s. In 2013 the Parliament demanded the reform to take account of the health of buildings. The health requirement also covers the health of the indoor climate of the building. Making the legislation on indoor climate complete is hampered by the division of responsibilities between two ministries, the Ministry of the Environment and the Ministry of Social Affairs and Health. The reform of the Land Use and Construction Act is scheduled for completion in 2021.

The requirement to improve the health and quality of buildings has been met by developing legislation as follows: tightening the qualification requirements for designers, defining the requirements for design of physical conditions of the building, tightening the qualification requirements for the responsible site manager, defining plans and reports for construction projects, building moisture engineering performance design, radon engineering design and air conditioning design. The Ministry of Social Affairs and Health has updated legislation and regulations regarding indoor air quality, indoor air measurements and action limit values. The qualification requirements for building health experts have also been tightened, and the content and methods of building health research have been clarified and harmonized.

The aim of this thesis was to survey the indoor climate reforms made in the 2010s and how laws and regulations have been used to address the prevailing quality problem in buildings.

KEYWORDS:

indoor climate, indoor air problems, land use and building law

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 RAKENNUKSEN SISÄILMASTO	12
2.1 Tavallisimmat sisäilman epäpuhtaudet	12
2.1.1 Hiilidioksidi	12
2.1.2 Ammoniakki	12
2.1.3 Formaldehydi	13
2.1.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	13
2.1.5 Klooriniasoli	14
2.1.6 Hiilimonoksidi	14
2.1.7 Otsoni	14
2.1.8 Radon	14
2.1.9 Asbesti ja mineraalikuidut	15
2.1.10 Kosteusvauriot ja mikrobit	17
2.2 Sisäilmasto-olosuhteet	21
2.2.1 Lämpöolot	21
2.2.2 Ilmanvaihto	21
2.3 Muut sisäympäristötekijät	23
2.3.1 Valaistus	23
2.3.2 Ääniolosuhteet	24
3 SISÄILMASTOA KOSKEVAN LAINSÄÄDÄNNÖN KEHITTÄMINEN	25
3.1 Suunnittelu	25
3.1.1 Sisäilmaston laadun tavoitteen asettaminen	25
3.1.2 Pätevyysvaatimukset	27
3.1.3 Rakennesuunnittelussa huomioitavat tekijät	31
3.1.4 Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu	34
3.3 Rakentaminen	35
3.3.1 Työn johtaminen	35
3.3.2 Rakennustöiden valvonta	37
3.3.3 Laadunvarmistusselvitys	37
3.3.4 Kosteudenhallintaselvitys- ja suunnitelma	38
3.3.5 Rakennustöiden puhtausluokitus	39

3.3.6 Rakennusmateriaalien päästöt	41
3.3.7 Ilmanvaihtotuotteiden puhtausvaatimukset	46
3.4 Sisäilmasto-ongelmien selvittäminen	47
3.4.1 Sisäilmaongelmien asiantuntijoiden pätevyysvaatimukset	47
3.4.2 Kuntotutkimus	48
3.4.3 Epäpuhtauksien ja haitta-aineiden määrittäminen	49
3.4.4 Fysikaalisten olojen mittaukset	50
3.4.5 Melumittaukset	51
4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	53
LÄHTEET	56

KUVAT

Kuva 1. Asbestin tyypillisiä käyttökohteita.....	16
Kuva 2. Yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden aiheuttamat haitat ja oireet (Lähde: Pitkäranta ja Puhka. 2013).....	20
Kuva 3. Sisäilmastoluokituksen rakenne (Sisäilmastoluokitus 2018).....	26

SANASTO

aktinomykeetti	sädesieni, aktinobakteeri, bakteeri, jolla on kyky muodostaa rihmastoa ja itiöitä
alkalinen hydrolyysi	kemiallinen hajoamisreaktio, joka tapahtuu kuivuneen betonin päälle liimatussa PVC-lattiassa, hajoamistuotteena 2-etyyli-1-heksanoli
ammoniakki	huoneenlämpötilassa kaasumainen yhdiste, jolla on tunnusomainen pistävä haju
aromaattinen hiilivety	kemiallinen, aromaattinen yhdiste, johon on liittyneenä hiilivety
asbesti	sidosaineena ja eristeenä käytettyjen kuitumineraalien yhteisnimitys
diffuusio	ilmiö, jossa molekyylit pyrkivät siirtymään väkevämmästä laimeampaan
emissio	kaasumainen päästö
epävarmuustarkastelu	mittaus- tai näytteenottotapahtumaan liittyvien epävarmuustekijöiden tarkastelu
formaldehydi	voimakashajuinen kaasu, käytetään laajalti kuluttajatuotteiden säilöntäaineena
gelatiini	eläinperäinen hyydyte
hiilidioksidi	hiilestä ja hapesta koostuva kemiallinen yhdiste
hiilimonoksidi	hiilen ja hapen yhdiste, myrkyllinen kaasu
indikaattori	laadullinen mittari
kaseiini	sienimäinen, hyvin vettä sitova aine, joka toimii sideaineena ja liimana
kalibrointi	mittalaitteen säätäminen mittanormaaliin
kloorifenoli	myrkky, jota käytettiin 1930-1980-luvuilla puutuotteiden suojaukseen
klooriniasoli	VOC-yhdiste, jota syntyy, kun mikrobit hajottavat kloorifenolilla kyllästettyä puumateriaalia

kreosootti	puusta, kivihiilestä tai kreosoottipensaasta pihkasta valmistettu kemikaali, jota on käytetty puunsuojaukseen ja kosteuseristeenä
mikrobi	yksisoluinen eliö
melatoniini	ihmisen aivojen erittämä hormoni, joka säätelee elimistön sisäistä kelloa
mykotoksiini	home myrkky, eräiden sienten myrkyllinen aineenvaihduntatuote
naftaleeni	syöpää aiheuttava aromaattinen hiilivety
oleskeluvyöhyke	huoneen osa, joka rajoittuu lattiaan, yläpinta 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä
otsoni	kolmen happiatomin muodostama, luonnossa esiintyvä yhdiste
PAH-yhdiste	polysyklinen aromaattinen hiilivety syntyy, kun orgaaninen aine palaa epätäydellisesti
PVC-muovi	rakennusmateriaalina käytetty muovi, polyvinyylikloridi
radon	hajuton ja näkymätön radioaktiivinen kaasu
silikaattimineraali	kiviaines, joka muodostaa 90 % maankuoresta
standardoitu	jonkin tietyn normin mukaan määriteltä
styreeni	helposti polymerisoituva orgaaninen yhdiste, jota käytetään muovien valmistukseen
terpeenit	hiilivetyjen aineryhmä, joita on runsaasti havupuissa erityisesti havupuiden pihkassa
toimenpideraja	raja-arvo, jonka ylittyessä pitää ryhtyä toimeen raja-arvon ylittymisen syyn selvittämiseksi
toksiini	biologisen organismin tuottama myrkyllinen aine, jota syntyy elion aineenvaihdunnassa

TXIB	haihtuva orgaaninen yhdiste, jota on käytetty yleisesti PVC-matoissa pehmittimenä, viskositeetin alentajana ja nykyään käytetään monissa maaleissa
VOC-yhdisteet	haihtuvat orgaaniset yhdisteet, jotka huoneilmaan haihtuessaan saattavat aiheuttaa oireita tilojen käyttäjille

1 JOHDANTO

Suomen ensimmäinen rakennuslaki on vuodelta 1958. Tällä hetkellä rakentamista säätelee 5.2.1999 voimaan astunut maankäyttö- ja rakennuslaki. Koska laki on sen voimaan astumisen jälkeen todettu monilta osin puutteelliseksi, lain toimivuusarviointi aloitettiin syksyllä 2011.

Yhtenä tarkastelun kohteena oli rakentamisen ohjauksen toimivuus ja sen vaikutus rakentamisen laatuun ja rakentamisen alalla toimivien vastuisiin. Tarkastelun suorittivat kahdeksan tiedeyhteisön edustajaa, jotka julkaisivat katsaukset ympäristöministeriön raportteja-julkaisusarjassa YMra 4/2012. Arvioinnin tukena toimi 14.2.2012 asetettu seurantaryhmä, johon kutsuttiin kaavoituksen ja rakentamisen alan keskeisten viranomaisien ja järjestöjen edustajia. Ryhmän puheenjohtajana toimi ympäristöministeriön kansliapäällikkö Hannele Pokka. Työn etenemisestä laadittiin väliarvio 31.12.2012. Osana tätä suurempaa selvitystyötä rakentamisen valvonnan tilaa ja rakentamisen laatua selvittivät VT Lauri Jääskeläinen ja OTK Pekka Virkamäki. (Ympäristöministeriö 2014.)

Maankäyttö- ja rakennuslakia puolestaan täydentää Suomen rakentamismääräyskokoelma, RakMk, johon kootaan maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut rakentamista koskevat säännökset ja rakentamismääräykset sekä ministeriön ohjeet. Määräyskokoelmaa ylläpitää ympäristöministeriö. Määräykset ovat usein toiminnallisia ja asettavat tavoitteet yleisellä tasolla. Tämän lisäksi rakentamista säätelevät normit ja suunnitteluohjeet, rakennustöiden yleiset laatumääräykset, rakennustietokortit ja rakennusalan oppi- ja käsikirjat. Toisin kuin määräykset, ohjeet eivät ole oikeudellisesti sitovia. Ympäristöministeriö julkaisee lakien tulkinnasta ohjeita lain yhtenäisen soveltamisen tueksi päätöksenteossa.

Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisvaltaisen tutkimus- ja kehitystyön lisäksi eduskunta on esittänyt täysistunnossa 22.5.2013 eduskunnan kirjelmän 5/2013 vp, jossa eduskunta edellyttää, että hallitus ottaa maankäyttö- ja rakennuslain sekä rakentamismääräyskokoelman muutosten valmistelussa rakennusten terveellisyyden paremmin huomioon. Valmistelussa edellytetään otettavan kantaa myös rakennusalan pätevyysvaatimuksiin ja niiden selkeyttämiseen. Pätevyysvaatimusten kautta pyritään parantamaan alan osaamista. Vaatimuksena oli myös yhdenmukaisuus terveyden suojelua ja työsuojelua koskevien säädösten kanssa.

Yhtenä rakentamisen tärkeimmistä tavoitteista tulisi olla rakennukseen saavutettava hyvä sisäilmasto. Sisäilmasto tarkoittaa huonetilassa olevien ihmisten hyvinvointiin vaikuttavien fysikaalisten, kemiallisten ja mikrobiologisten olosuhteiden, lämpötilan ja ilman laadun kokonaisuutta. Laajemmin sisäilmastoon voidaan katsoa kuuluvan myös huone-tilan valaistus- ja äänisuhteet. (LVI 05-10417, 2007)

Hyvän sisäilmaston saavuttaminen edellyttää ensiksikin tavoitteiden asettamista ja pyrkimystä tietoisesti tuottaa rakennukseen hyvä sisäilmasto ja ylläpitää sitä. Pitkäjänteisellä työllä suunnittelusta rakentamiseen, lopputarkastuksiin ja käyttöön voidaan tämä tavoite saavuttaa. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä on keskeinen rooli. Rakennuttaja/tilaaja valitsee tavoiteltavat sisäilmastoluokat, rakennustöiden puhtausluokat ja rakennusmateriaalien päästöluokat jo hankesuunnitteluvaiheessa yhdessä suunnittelijoiden kanssa. Sisäilmaston suunnittelussa voidaan käyttää apuna muun muassa Sisäilmasto-luokitus 2018 ja Terve talo -kriteereitä. Huono sisäilma on seurausta laadun pettämisestä.

Sisäilmaston lopulliseen laatuun vaikuttavat niin lämmitys ja ilmanvaihto laitteistoinen kuin myös rakennustekniikka, rakennustyöt ja rakentamisessa käytetyt materiaalit. Tärkeässä osassa on myös rakennuksen valmistumisen jälkeinen käyttö ja kunnossapito.

Rakennusten sisäilmaongelmien määrä ja havainnointi on lisääntynyt aina viime vuosiin asti. Tutkimusten mukaan jopa 30...40 % kokee tyytymättömyyttä sisäympäristöolosuhteisiin. (LVI 05-10417, 2007)

Sisäilmaongelmista on ryhdytty puhumaan rakennusten käyttäjien terveyshaittojen seurauksena. Usein sisäilmaongelmien aiheuttajaksi epäillään homeita, koska niistä puhutaan julkisuudessa paljon. On kuitenkin olemassa paljon rakennuksia, joissa sisäilmaongelmat johtuvat jostakin muusta kuin kosteus- tai homevauriosta.

Jo 1970-luvun puolivälin jälkeen ulkomailla alkoi ilmetä sairas rakennus -ongelma (sick building syndrome) lähinnä uusissa julkisissa rakennuksissa. Rakennusten käyttäjien oireiden ilmeneminen liittyi rakennuksessa oleskeluun. Ongelmalliseksi asian tekee se, että jopa 10...20 % käyttäjistä ilmoittavat saavansa oireita terveissä rakennuksissa. (Leivo 1998, 10)

Sisäilmasto-ongelmien voidaan katsoa aiheuttavan tilojen käyttäjille haittaa tai jopa suoranaisesti vaaraa. Rakennuksen sisäilmaston tervehdyttäminen onkin useimmiten sekä terveydenhoidon että korjausrakentamisen yhteinen voimanponnistus.

Sisäilmaongelmien tutkiminen vaatii sekä rakennuksen vikojen kartoitusta että mahdollisesti pidempiaikaista seurantaakin esimerkiksi rakennuksen käyttäjien terveyden tilasta. Sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä on useita. Syynä huonoon sisäilmanlaatuun voivat olla esimerkiksi kosteus- tai homevaurio, rakennusmateriaaleista aiheutuvat kemialliset päästöt, erilaiset pölyt, ilmanvaihtolaitteiden tekniset viat tai virheellinen ylläpito.

Kyseessä on sekä kansanterveydellisesti että kansantaloudellisesti merkittävä asia. Sisäilmastosta johtuvien ongelmien, oireilun ja sairauspoissaolojen kustannusvaikutukset ovat suuret. Kustannusten on vuositasolla arvioitu olevan suuremmat kuin rakennusten lämmittämiseen tarvittavan energian vuotuinen hinta. (LVI 05-10417, 2007)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, miten 2010-luvulla on lainsäädäntöä kehittämällä pyritty puuttumaan rakentamisen laatuongelmiin, jotka aiheuttavat sisäilmaongelmia. Koska vaikuttavia tekijöitä ja osa-alueita on paljon, työn tavoitteena ei ole käydä läpi osa-alueita yksityiskohtaisesti vaan tavoitteena on tehdä aihepiiristä mahdollisimman kattava kokonaiskatsaus. Lähdeaineistona tässä työssä käytetään lakeja, jotka on säädetty 2010-luvulla määrittämään hyvän sisäilman kriteerejä, rakenteiden suunnittelua ja rakentamisen käytäntöjä. Lisäksi tarkastellaan näiden lakien seurauksena kehitettyjä asetuksia, säännöksiä ja RT-kortiston kehitystä.

Työn lähtökohtana on olettaa, että lainsäädäntöä on kehitetty laajasti kaikki sisäilman osa-alueet huomioiden. Työssä määritellään ensin sisäilmastoon kuuluvat osa-alueet ja sen jälkeen tarkastellaan lainsäädännön kehittämistä ja sitä, miten RT-kortistoa on kehitetty uuden lainsäädännön pohjalta. Työn lopussa tehdään yhteenveto ja tarkastelu, riittääkö tehty lainsäädännön kehittäminen suhteessa ongelman laajuuteen.

2 RAKENNUKSEN SISÄILMASTO

Rakennuksen sisäilmasto vaikuttaa sekä ihmisen terveyteen että viihtyvyyteen. Rakentamisen suunnittelu, itse rakentaminen ja rakennuksen käytön aikainen kiinteistöhuolto tähtäävät kaikki hyvään sisäilmastoon. Hyvä sisäilmasto saavutetaan erilaisten sisäilmastotekijöiden huomioonottamisella ja huolellisuudella rakennus- ja LVI-suunnittelussa. Sisäilmaston laatuun vaikuttavat monet tekijät: rakennuksen lämpööratkaisut, ilmanvaihto, käytetyt rakennusmateriaalit ja rakennustöiden suorittamisen laatu. Lisäksi sisäilmaan vaikuttaa tiloissa tapahtuva toiminta ja rakennuksen käyttöönoton jälkeinen kunnossapito. (LVI 05-10417, 2007)

2.1 Tavallisimmat sisäilman epäpuhtaudet

2.1.1 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on ilmakehässä oleva yleinen kaasu. Sisäilmaan sitä syntyy ihmisen elintoiminnoista uloshengitetyn ilman mukana. Sisätilassa vallitseva liiallinen hiilidioksidi aiheuttaa unen laadun ja keskittymiskyvyn heikkenemistä, päänsärkyä ja raskasta oloa. Hiilidioksidin määrään sisäilmassa pystytään vaikuttamaan riittävällä ilmanvaihdolla ja mitoittamalla tilojen ihmiskuormitus oikein. (LVI 05-10417, 2007)

2.1.2 Ammoniakki

Ammoniakki on väritön kaasu, jota voi vapautua sisäilmaan sekä ihmisen toiminnoista (muun muassa tupakan poltto ja puhdistusaineiden käyttö) että myös rakenteista. Kasseiinia ja gelatiinia sisältävät tasoiteaineet vapauttavat kastuessaan hajoamisprosessin seurauksena ammoniakkia. Suurina pitoisuuksina sisäilmassa ammoniakki voi olla erittäin vaarallista. Jo pieninä pitoisuuksina ammoniakki aiheuttaa hajuhaitan, sillä ammoniakki on pistävän hajuinen. (LVI 05-10417, 2007)

Pintojen ammoniakkiemissioita lähdetään mittaamaan, mikäli sisäilmasta mitatut ammoniakkipitoisuudet ovat korkeita, ilmanvaihto toimii suunnitellusti eikä sisäilman ammoniakkipitoisuudelle ole käytöstä johtuvia syitä. Lattianpäällysteen alta betoni- tai

tasoiokerroksesta mitataan ammoniakkiemissio siinä tapauksessa, että pintojen emissiomittaukset eivät tuota tulosta. (RT 14-10776, 2003)

2.1.3 Formaldehydi

Formaldehydi löytyy WHO:n syöpävaarallisten aineiden luettelosta kategoriasta 2 mahdollisesti ihmisessä syöpää aiheuttavana aineena. Korkeina sisäilmapitoisuuksina formaldehydi aiheuttaa eritasoisia hengitystie- ja silmäoireita. Formaldehydille voi myös herkistyä, ärsytysoireita voi esiintyä joillakin jo hyvin pienissä pitoisuuksissa, kuten 5–10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Formaldehydiä käytetään mineraalivillan, liimojen, hartsien ja lakkojen valmistukseen. Sisäilmaan formaldehydiä vapautuu erityisesti lastulevyistä, maaleista, lakoista, kokolatiamatoista, itsesiliävistä kankaista ja kosmeettisista aineista. WHO:n suosittelema arvo ilman formaldehydipitoisuudelle on alle 0,1 mg/m^3 30 minuutin keskiarvona. (LVI 05-10417, 2007, RT 18-11245, 2016)

2.1.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet) tarkoittavat hiilivetyjä ja muita orgaanisia yhdisteitä, jotka esiintyvät sisäilmassa yleensä kaasumaisena. Näiden yhdisteiden kiehumispiste on alueella 50–260°C ja joiden höyrynpaine 20 °C:ssa on 0,01 kPa tai enemmän. Erityisesti osa raskaammista puoli haihtuvista orgaanisista yhdisteistä ovat osoittautuneet haitallisiksi, ne voivat sitoutua myös sisäilman pienhiukkasiin. Sisäilmaan voi kehittyä erittäin haitallisia orgaanisia yhdisteitä, kuten aromaattisia ja polyaromaattisia hiilivetyjä (esimerkiksi styreeniä ja bentseeniä). VOC-yhdisteet aiheuttavat silmien, hengitysteiden ja limakalvojen ärsytystä, hajuntuntemuksia ja päänsärkyä. Sisäilmaan VOC-yhdisteet syntyvät yleensä rakennus- ja sisustusmateriaalien emissioista, kuten maalien ja lakkojen liuottimista, lisäaineista ja reaktio- ja hajoamistuotteista. VOC-yhdisteistä terpeenejä syntyy myös puun sahauksen ja käsittelyn yhteydessä. Erityisesti uusissa rakennuksissa on mitattu korkeita VOC-pitoisuuksia. Riittäväällä ilmanvaihdoilla pystytään kuitenkin alentamaan pitoisuuksia nopeastikin. (RT 18-11245, 2016, LVI 05-10417, 2007)

2.1.5 Klooriniasoli

Klooriniasolit ovat kloorifenoleja sisältävien puunsuoja-aineiden mikrobiologisessa hajoamisessa syntyviä yhdisteitä. Kloorifenoleista yleisen PCP-yhdisteen käyttö oli runsainta 1930–1980-luvuilla. PCP:tä sisältäviä tuotteita on ollut saatavilla aina 1990-luvulle asti. Klooriniasolien esiintyminen sisäilmassa aiheuttaa rakennukseen tunnusomaisen ”mummon mökin” eli vanhan talon hajun. Saatavilla olevan tutkimustiedon mukaan klooriniasolit eivät itsessään aiheuta oireita, mutta hajuhaitta koetaan epämiellyttäväksi. Haju tarttuu herkästi rakennuksen muihin materiaaleihin ja rakennuksessa oleviin vaatteisiin ja muuhun irtaimistoon. Hajusta on vaikea päästä eroon ja rakennuksia on päädytty jopa purkamaan klooriniasolien aiheuttaman hajuhaitan vuoksi. (Pitkäranta 2016, 75)

2.1.6 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidia eli häkää syntyy hiilen epätäydellisen palamisen yhteydessä. Huoneilmaan hiilimonoksidia syntyy puuhelloja tai takkoja käytettäessä. Hiilimonoksidi on vaarallinen, sillä se on hajuton ja suurina määrinä tappava. (LVI 05-10417, 2007)

2.1.7 Otsoni

Sisätiloista löytyvä otsoni on yleensä peräisin ulkoilmasta. Otsoni aiheuttaa hengitystieoireita, kuten ärsytystä, yskää ja infektioiden lisääntymistä. (LVI 05-10417, 2007)

2.1.8 Radon

Radon on rakennusten sisäilmassa esiintyvä näkymätön ja hajuton jalokaasu, joka syntyy maaperässä tapahtuvan luonnollisen radioaktiivisen uraanin hajoamistuloksena. Noin puolet suomalaisten saamasta säteilyannoksesta on peräisin sisäilman radonista. Merkittävin sisäilman radonin lähde on maaperän huokosilma, mutta huoneilmaan tulee radonia myös rakennusmateriaaleista, rakennuksen alapuolisista täyttökerroksista ja talousvedestä. (RT 103123, 2019)

Pitkäaikainen altistuminen suurelle radonpitoisuudelle lisää riskiä sairastua keuhkosityöpään, Suomessa onkin arvioitu vuosittain 200 keuhkosityöpätapauksen aiheuttajaksi

sisäilmaan päässyttä radonia. Radonpitoisuutta mitataan yleensä rakennuksen pohjakerroksesta lämmityskauden aikana kahden kuukauden ajan radonmittauspurkillä. (RT 18-11245, 2016)

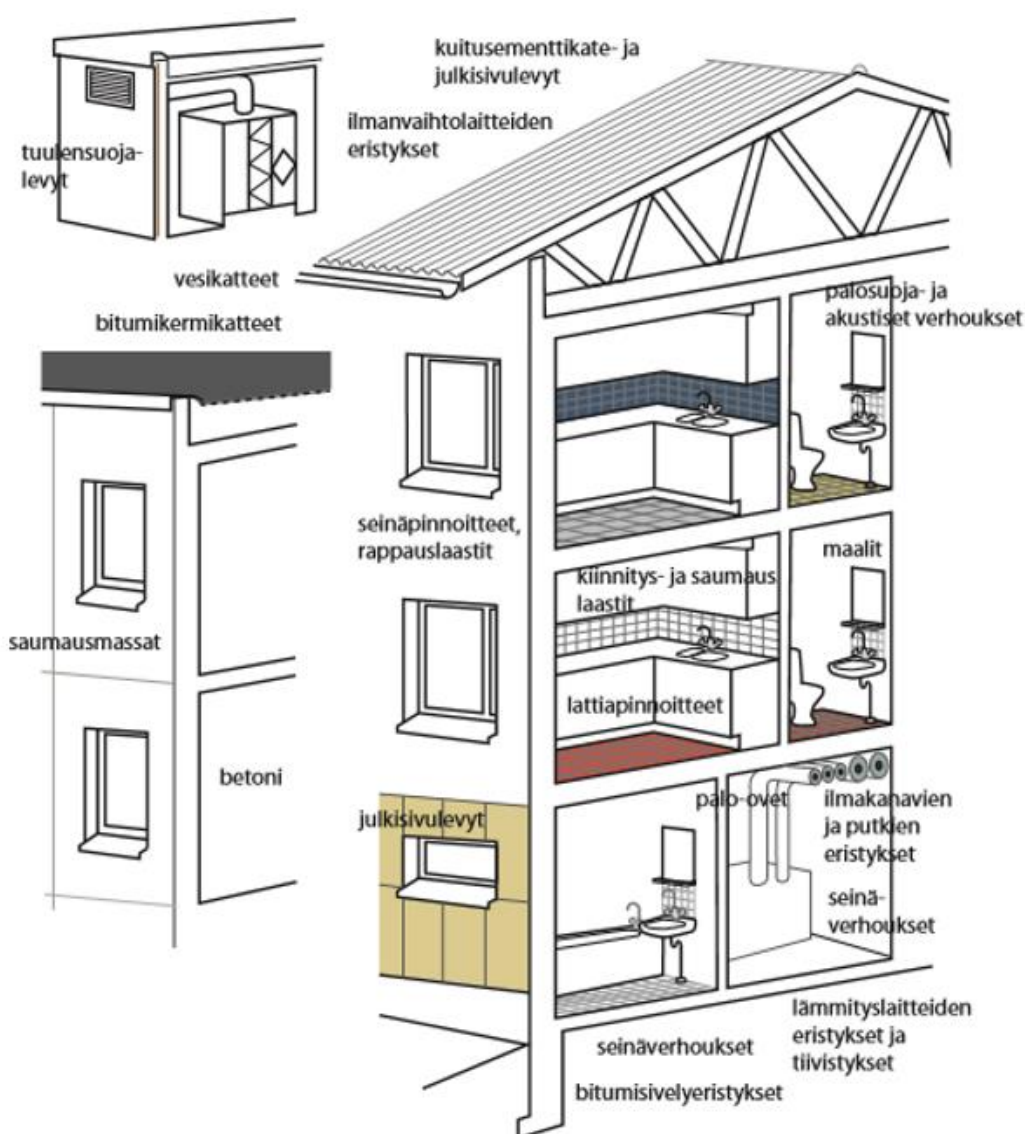
Suomessa on yleistä, että suunnittelulle ja rakentamiselle asetettu enimmäisarvo 200 Bq/m³ ylittyy. Ylitykset ovat yleisempiä sora- ja betonimateriaaleilla. Rakennuksen radonpitoisuuteen vaikuttaa rakennuksen alkuperäinen rakennusmaa, rakennuksen alle lisättävät täyttö- ja salaojakerrokset ja kaikki mineraalimateriaalista sisältävät rakennusmateriaalit. Kerrostalojen betoniset rakenteet nostavat sisäilman radonpitoisuutta keskimäärin 40 Bq/m³, kun pientalon betonilaatan vaikutus on 20 Bq/m³. Alapohjassa tai maaperässä oleva radon kulkeutuu sisäilmaan joko suoraan rakennusosien läpi tai rakennusosien liitosten tai halkeamien kautta. Merkittävämpiä näistä on liitos- ja halkeamakohtien kautta tapahtuvat ilmavirtaukset. Radonin torjunta tehdään rakenteita tiivistämällä ja asentamalla alapohjaan tuuletusjärjestelmä. Tiivistäminen katkaisee virtaukset rakennuspohjasta huonetiilaan. Tuuletusjärjestelmällä varmistetaan radonpitoisuuden hallinta. Tehokkaalla ilmanvaihdoilla voidaan epäpuhtauksien pitoisuutta pienentää sisäilmassa. (RT 103123, 2019)

2.1.9 Asbesti ja mineraalikuidut

Asbesti ja mineraalikuidut ovat kiinteitä, yleensä rakennusperäisiä sisäilman epäpuhtauksia. Asbesti on yleisnimi kuitumaisille silikaattimineraaleille, joita käytettiin rakennusmateriaalien raaka-aineena Suomessa vuosien 1910–1992 välisenä aikana. Asbesti oli suosittua lujuusominaisuutensa ja palonkestävyytensä takia. Ainetta pidetään asbestipitoisena, jos asbestia on yli 1 % aineen painosta. Käytännössä asbesti on silmin havaitsematonta ohutta, alle 10 µm:n pituista kuitua, joka vapautuu ilmaan asbestipitoisen rakennusmateriaalin rikkoutuessa. Asbestipölyn päästessä hengitysteihin ja keuhkoihin ihminen altistuu asbestisairauksille, kuten keuhkosityövälle, asbestoosille tai keuhkopussin sairauksille. Työturvallisuus- ja ympäristömääräykset ovat kiristyneet asbestin suhteen asteittain 1960-luvulta lähtien. Nykyisin asbestikuitujen määrälle ei ole olemassa toleranssirajaa, niitä ei sallita sisäilmassa yhtään. Asbestin- ja asbestipitoisten tuotteiden myyminen ja käyttöönotto on kielletty 1.1.1994 alkaen.

Ehjä pölyämätön asbesti ei aiheuta vaaraa sellaisenaan. Vasta purku- tai korjaustöitä tehtäessä ennen vuotta 1994 rakennettuihin rakennuksiin tehdään kaikista purettavista materiaaleista asbestikartoitus ennen töihin ryhtymistä. Asbestia on käytetty putkieristeissä, kuitusementtituotteissa, palonsuoja- ja akustiikkalevyissä, rakennuspahveissa,

langoissa ja kankaissa, vinyylilaatoissa- ja matoissa, laattojen kiinnitysliimoissa, muovi-, linoleumi- ja kumimatoissa, magnesiummassalattioissa, PVC-muovisissa rakennustuotteissa (laatat, jalkalistat, muovitapetit), kiinnitys- ja saumalaasteissa, kuuraus- ja kipsilaasteissa, maaleissa ja pinnoitteissa, bitumiliimoissa, -maaleissa ja -kiteissä, pinnoiteissa teräslevyissä ja uuneissa, kiukaissa ja savuhormeissa (kuva 1). (RT 18-11245, 2016) Tästä pitkästä listasta voi päätellä, että erityisesti 1900-luvun puolivälin jälkeen rakennetuissa korjauskohteissa lähes väistämättä tulee vastaan asbestia jossain muodossa.



Kuva 1. Asbestin tyypillisiä käyttökohteita.

Teollisilla mineraalikuiduilla tarkoitetaan teollisesti valmistettuja lasi-, vuorivilla- ja kuonakuituja. Mineraalikuituja saattaa päästä huoneilmaan alakatoista ja ilmanvaihtolaitteiden sisäpintojen lämmön ja ääneneristyksistä. Mineraalikuidut ärsyttävät ihoa, silmiä ja ylähengitysteitä, mutta niitä ei pidetä yhtä haitallisina kuin asbestikuituja. Mineraalikuitujen esiintymistä sisäilmassa arvioidaan kahden viikon petrimaljaan kerättyjen laskeumanäytteiden avulla. Näytteestä analysoidaan yli 20 mikrometrin pituisten mineraalikuitujen määrä mikroskopoimalla. Mineraalikuitujen viitearvo on 0,2 kuitua/ cm². Mikäli tämä ylittyy, selvitetään kuitulähteet ja ryhdytään korjaustoimiin. Mahdolliset kuitulähteet voivat olla esimerkiksi rikkoutuneet tai pinnoittamattomat kuitumateriaalit tai likaantuneet ilmastointikanavat. Kuitujen määrää sisäilmasta voidaan vähentää myös tehostamalla siivousta. (RT 18-11245, 2016, LVI 05-10417, 2007)

2.1.10 Kosteusvauriot ja mikrobit

Perinteisiä merkkejä kosteus- ja mikrobivauriosta ovat esimerkiksi kosteuden aiheuttamat näkyvät vauriot, asukkaiden ja käyttäjien terveydellinen oireilu, tunkkainen haju, silmin havaittavat homekasvustot. Rakennusosissa olevat mikrobien itiöt ja hajut voivat ilmanvaihdon aiheuttaman alipaineen johdosta levitä huoneilmaan. Rakennuksen käyttäjille mikrobit voivat aiheuttaa yleisoireena väsymystä, pahoinvointia ja kuumeilua, allergisia sairauksia, infektioita ja erilaisia ärsytysoireita limakalvoille ja iholle. Homeet kasvavat tavallisimmin materiaalien pinnoilla eikä niiden kasvulla ole vaikutusta materiaalin lujuusominaisuuksiin (Ratu 82-0383, 2011)

Kosteusvauriot johtuvat muun muassa suunnittelupuutteista, rakennustyövirheistä, rakentamisen laadun hallinnan puutteista, rakennusosien puutteellisesta huollosta tai käyttövirheistä. Suunnittelulla pyritään vaikuttamaan siihen, että rakennuksen vaakapinnoille satava vesi, pintavedet rakennuksen ympärillä, ulkoilman kosteus ja maaperän kosteus hallitaan rakenteellisilla ratkaisulla. Sadevesi johdetaan pois kaltevuuksien ja erilaisten vedenpoistojärjestelmien avulla. Rakennuksen räystäät pellityksineen, rakennuksen sijoittelu ja muotoilu suojaavat seiniä viistosateelta ja katolta valuvilta vesiltä. Ulkoseinän ja sisäseinän välisellä ilmaraolla hidastetaan viistosateen pääsyä seinän sisäosiin. Maanpinta kallistetaan rakennuksen ympäriltä riittävästi johtamaan pintavesiä pois päin, sokkelin tai perusmuurin vedeneristys estää pintavesien pääsyn rakenteeseen tai rakennuksen alle. Ulkoseinän alareunan tulee olla riittävän korkealla maanpinnasta, jotta roiskevedet eivät pääse rakenteeseen. Lattiatason tulee olla selvästi maanpintaa ylempänä.

Maaperässä esiintyvää kosteutta pyritään hallitsemaan toimivalla salaojituksella ja rakennusmateriaalien välisillä kapillaarikatkoilla. Maaperästä tulevaa kosteutta on teoreettisestikin hankala hallita ja siitä johtuvien kosteusvaurioiden syiden löytäminen ja korjaaminen vanhoista rakennuksista on hankalaa. (Leivo 1998, 22-23)

Rakennuskosteuden seurauksena syntyvät vauriot johtuvat siitä, ettei rakennusosa ole ehtinyt kuivua ennen peittävän rakennusosan tai pintakerroksen asentamista. Rakennuskosteutta jää rakenteisiin, kun rakennusosia tai tarvikkeita ei ole suojattu kosteudelta rakennusaikana, lattiapäällyste asennetaan liian kostean betonilaatan päälle, rakennuksen sisä- tai ulkomaalauksia on tehty ennen kuin rakennusosat ovat ehtineet kuivumaan tai puurakenteet on tehty liian kosteasta puutavarasta. Puutteellisen lämmöneristyksen aiheuttavien kylmäsiltojen kylmiin pintoihin tiivistyy sisäilman sisältämä kosteus. (RT 05-10710, 1999)

Käyttöveden eli pyykinpesun, tiskaamisen, siivoamisen, saunomisen ja peseytymisen aiheuttama kosteusrasitus vaihtelee käyttötottumuksien mukaan. Kosteissa tiloissa veden siirtyminen rakenteisiin estetään tiiviillä vedeneristyskerroksella. Käyttäjien huolimattomuus ja välinpitämättömyys alkavista kosteusvaurioista voi tuhota nopeastikin tavanomaisessa käytössä kestävän, oikein tehdyn rakennuksen.

Yksi suurista kosteusvahinkojen aiheuttajasta on putkistovuodot. Putkistot tulisi sijoittaa siten, että niiden vuoto on havaittavissa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ja putkistojen uusiminen olisi mahdollisimman yksinkertaista. Käyttövesiputkien vuotoja pystytään tarkkailemaan vesimittarin lukemasta melko yksinkertaisesti, viemärijärjestelmän vuodot havaitaan vain niiden vuotokohdasta.

Joka tapauksessa materiaalin kuivuminen on hitaampi prosessi kuin materiaalin kastuminen. Näin ollen rakennusmateriaalien kastuminen missään elinkaaren vaiheessa ei ole suotavaa ja kastumisen estämiseen tulisi kiinnittää huomiota.

Mikrobit ovat erinomaisen lisääntymiskyvyn omaavia eliöitä, joihin kuuluvat muun muassa virukset, bakteerit, sienet, levät ja alkueläimet. Mikrobeja, kuten bakteereita ja sieniä, on aina maaperässä ja ulkoilmassa, näin ollen niitä on usein myös sisäilmassa ja rakennusmateriaaleissa. (LVI 05-10417, 2007)

Sisätiloissa menestyäkseen mikrobit tarvitsevat kostean kasvualustan. Rakennetussa ympäristössä kosteusvaurio tarjoaa tarvittavan riittävän kostean kasvualustan. Kosteusvaurion syntymiseen vaikuttaa rakennusmateriaalin oma kosteuden kyllästyspiste ja

ympäristön kosteus. Materiaali pyrkii aina ympäristönsä kanssa tasapainokosteuteen eli materiaali imee ympäristöstään kosteutta, kunnes saavuttaa kyllästyspisteensä. Kosteuden lisäksi mikrobit tarvitsevat ravintoa kasvaakseen ja lisääntyäkseen. Lähes kaikissa rakennusmateriaaleissa on riittävästi ravintoa mikrobin kasvua varten. Sieniä ja bakteereita, jotka kasvavat erityisesti kosteusvaurioituneissa rakennusmateriaaleissa, nimitetään kosteusvauriomikrobeiksi. Kosteusvauriomikrobeista yleisimpiä ovat homesienet. Ilman suhteellisen kosteuden ylittäessä 70 % ja lämpötilan ollessa 0... 55°C syntyvät otolliset olosuhteet homeen kasvuille. (Ratu 82-0383, 2011)

Osa bakteereista tuottavat niin sanottuja endotoksiineja eli soluihin sidottuja toksineja (myrkyjä). Eräiden sienien aineenvaihduntatuotteita nimitetään mykotoksiineiksi, jotka niin ikään ovat myrkyllisiä. Mikrobin välillä on lajikohtaisia eroja, toiset muodostavat myrkyllisiä yhdisteitä kasvun aikana ja toiset eivät. Lämpötilan ja kosteuden ollessa lähellä lajin optimaalista kasvuolosuhdetta, toksineja alkaa syntyä. Rakennusmateriaalien homehtumisen myötä näitä myrkyllisiä tuotteita voi kulkeutua sisäilmaan. Mykotoksiinien esiintymisestä rakennusmateriaaleissa on tutkittua tietoa hyvin vähän. (Sisäilmayhdistys ry. 2008.)

Kuvassa 2 on tehty yhteenveto tavallisimmista sisäilman epäpuhtauksista, niiden tavanomaisista lähteistä ja niiden aiheuttamista haitoista.

Epäpuhtaus tai muu haittatekijä	Tavanomainen lähde/syy	Haitta / oire
Allergeenit	Koti- ja lemmikkieläimet, siitepölyt, kemikaalit, pöly- ja varastopunkit, mikrobikasvustot	Allerginen nuha, silmä-, astma- ja iho-oireilu
Ammoniakki	Materiaalien kosteusvauriot, viemärit, lemmikkieläimet, tupakointi	Hajuhaitat, ärsytysoireet
Asbestikuidut	Useat eri rakennusmateriaalit	Syöpärisikin kasvu, asbestoosi
Formaldehydi	Lastulevyn ym. materiaalien kosteusvauriot, sisustustuotteet, tekstiilit ja pesuaineet	Hajuhaitat, ärsytysoireet, kosketus-ihottuma, syöpärisikin kasvu.
Hiilidioksidi (CO ₂)	Ihmiset, lemmikkieläimet, heikko ilmanvaihto	Suuri pitoisuus viittaa tilojen käyttöön nähden riittämättömään ilmanvaihtoon. Erittäin korkeissa pitoisuuksissa väsymys, päänsärky.
Hiilimonoksidi (häkä, CO)	Tulisijat, liikenne	Häkämyrkytys, tukehtumiskuolema
Häiritsevät hajut	Materiaalien kosteusvauriot, ilmapuodot rakenteista, materiaalit, kemikaalit, käyttäjät	Ärsytysoireet, epämukavuus
Vähäinen ilmanvaihtuvuus	Heikkotehoinen ilmanvaihto, IV-järjestelmän viat, ilmanjaon puutteet	Epäpuhtauksien kertymisestä aiheutuva oireilu ja epämukavuus
Liiallinen alipaineisuus rakennuksen ulkovaipan yli	Ulkoilmavirtoihin nähden liialliset poistoilmamäärät	Epäpuhtauksien kulkeutuminen rakenteista sisäilmaan
Kuiva sisäilma	Kylmä ja kuiva ulkoilma	Ihon ja limakalvojen ärsytysoireet, oireiluherkkyden kasvu
Lämpötila, liian matala tai korkea, vetoisuus	LVI-järjestelmän puutteet ja säätövirheet, pintasäteily, ilmapuodot	Epämukavuus, sairastavuuden lisääntyminen
Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet	Kosteus- ja mikrobivauriot, ilmapuodot rakenteista, IV-kanaviston epäpuhtaudet kosteissa järjestelmänosissa	Hengitystieärsytys, astma, allergiset sairaudet, hengitystieinfektioiden lisääntyminen, yleisoireet
Otsoni	Ilmanpuhdistimet, kopiokoneet	Hengitysteiden ärsytysoireet. Voimistaa allergeenien vaikutusta
PAH-yhdisteet	Vanhat kosteuseristeet, kivihiilipiki, polttotapahtumat	Hajuhaitat, syöpärisikin kasvu
PCB	Rakennusmateriaalit, mm. elementti-saumaussmassat ja maalit, lämmönsiirtonesteet	Syöpärisikin kasvu
Pienhiukkaset	Ulkoilma (teollisuus, liikenne), tupakan savu, kopiokoneet, kosteusvauriot, pienpoltto, kynttilät ja tulisijat	Viihtyvyyshaitat, sydän- ja hengityselinsairaudet, astma
Radon	Maaperä, rakennuksen alustäyttö	Keuhkosyöpärisikin kasvu
Teolliset mineraalivillakuidut	Lämmön- ja ääneneristysmateriaalit rakenteissa ja IV-järjestelmässä	Silmien ja hengitysteiden ärsytysoireet
VOC-yhdisteet (haihtuvat orgaaniset yhdisteet, engl. volatile organic compounds)	Kosteusvauriot, rakennusmateriaalit, sisustusmateriaalit, tekstiilit, pesuaineet, kosmetiikka, ihmiset ja lemmikkieläimet	Ärsytysoireet, astma
Öljyhiilivedyt	Rakennusmateriaalit (mm. valuasfaltti), öljyvahingot rakenteisiin ja maaperään rakennuksen alla	Hajuhaitat

Kuva 2. Yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden aiheuttamat haitat ja oireet (Lähde: Pitkäranta ja Puhka. 2013).

2.2 Sisäilmasto-olosuhteet

2.2.1 Lämpöolot

Ihminen aistii voimakkaasti lämpöolojen kuten, huonelämpötilan tai vedon, tunteen rakennuksessa. Lämpöoloihin pystytään vaikuttamaan taloteknisillä ratkaisilla ja rakennusteknisillä keinoilla, kuten lämmöneristyksellä. Hyvin eristetyissä rakennuksissa huoneiden lämpötilojen hallinta on helpompaa lämmityskaudella. Liian alhainen lämpötila saattaa pahimmillaan aiheuttaa hypotermiaa. Kesällä taas aurinko aiheuttaa rakennukseen lämpökuormia, joita ei pystytä purkamaan pelkästään koneellisella jäähdytyksellä. Jäähdytyksen lisäksi suunnittelussa pitää huomioida muun muassa rakennuksen suuntaus ja aurinkosuojaukset. Korkea huonelämpötila lisää kuivuuden ja tunkkaisuuden tunnetta, lisää pölyisyyttä ja pintojen sähköisyyttä ja lisäksi aiheuttaa väsymystä. Korkea lämpötila kuormittaa elimistöä samoin kuin raskas ruumiillinen työ.

Lämpöolot vaikuttavat erityisesti työnteeseen ja työn tuottavuuteen. Optimaalinen lämpötila työskentelylle on 21...25 astetta. Suomessa on harvinaista, että huonelämpötila aiheuttaisi rakennuksen käyttäjille välitöntä terveydellistä haittaa. (LVI 05-10417, 2007)

2.2.2 Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihdon tulee riittää epäpuhtauksien poistamiseksi ja sisäilman laadun ylläpitämiseksi. Rakennukseen otetun tuloilman tulee olla puhdasta. Riittävästä ilmanvaihdesta kannattaa huolehtia, sillä on osoitettu, että se muun muassa suojaa ihmisestä ihmiseen ilman kautta liikkuvilta tartunnoilta. Ilmanvaihdon ulkoilmavirtoja voidaan suunnitella joko tilan pinta-alan perusteella, käyttäjämäärän perusteella tai epäpuhtaus- tuottojen ja ilmanvaihdon poistotehokkuuden mukaan. Pyrkimyksenä on, että huoneessa syntyvät epäpuhtaudet eivät leviä vaan poistuvat huoneesta tehokkaasti ilmanvaihdon avulla.

Tavallisimmat käytössä olevat ilmanvaihtojärjestelmät ovat painovoimainen poistoilmanvaihto, painovoimainen poisto tehostettuna liesituulettimella, koneellinen poistoilmanvaihto, koneellinen poisto varustettuna liesikuvulla, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto varustettuna lämmöntalteenotolla ja ilmalämmitykseen yhdistetty ilmanvaihtojärjestelmä. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ulkoilma tuodaan huoneisiin korvausilmaventtiilein

hallitusti ja mahdollisten rakennusvaipassa olevien rakojen kautta hallitsemattomasti. Liesituulettimella tai koneellisella poistopuhaltimella pystytään ilmanvaihtoa tehostamaan. Ilmastoinnilla tarkoitetaan sisäilman laadun, lämpötilan, kosteuden ja puhtauden ylläpitämistä ilmankäsittelyn avulla. Ilmastoinnilla pystytään johtamaan huoneisiin jäähdytettyä, lämmitettyä, kuivattua tai kostutettua ilmaa tarpeen mukaan.

Ilmanvaihtolaitteita koskevia vaatimuksia on esitetty muun muassa viranomaisstandardeissa. Vaatimukset koskevat ulkoilma-aukkoja, tuloilmasuodattimia, kostuttimia ja lämmöntalteenottolaitteita. Ilmanvaihtolaitteiston osat on tehtävä sellaisiksi, ettei niistä pääse tuloilmaan haitallisia epäpuhtauksia. Ilmanvaihtokanavisto tulee varustaa puhdistusluukuilla, joiden kautta kanavistoa päästään puhdistamaan. Ilmanvaihtotuotteille on olemassa puhtausluokitus.

Ulkoilma-aukkojen sijoittelussa tulee ottaa huomioon tuloilman lämpeneminen kesällä ja ulkoilman epäpuhtauslähteiden sijainti. Ulkoilma-aukko ei saa sijaita lähellä liikenneväyliä, savupiippua, tuuletusviemäriä eikä jäteilma- ja tuuletusaukkoja. Epäpuhtaudet saattavat kulkeutua hyvinkin kaukaa ilmanottoaukkoihin. Ulkoilma-aukko tulee suojata siten, ettei sinne pääse roskia, sadetta tai lunta.

Ilmanvaihtolaitteisto tulee varustaa riittävän erotusasteen omaavalla suodattimella, jonka avulla pystytään vähentämään huoneeseen tuloilman mukana tulevia ulkoilman epäpuhtauksia. Suodattimille on määriteltä erilaisia tehokkuusluokkia. Suodattimet eivät saa päästää tuloilman epäpuhtauksia ja hajuhaittoja sisäilmaan. On mahdollisuus käyttää myös kaksiportaista suodatusta, jossa lika kerätään esisuodattimeen. Suodattimien osalta kiinteistöhuollon merkitys on suuri, sillä suodattimet on pidettävä puhtaana ja vaihdettava riittävän usein. Energiansäästösyistä ilmanvaihtolaitteisto on varustettava lämmöntalteenotolla.

Ilman jakoa ohjataan hallitusti tulo- ja poistoilmalaitteilla. Tuloilmalaitteiden sijoitus vaikuttaa ilman liikkeeseen, kun taas poistoilmalaitteilla poistetaan huoneesta epäpuhtauksia.

Rakennusten ylipaineistamisella saavutetaan miellyttävä sisäilmasto, mutta ylipaine on kosteusteknisesti vaarallinen vaipparakenteen kannalta. Ylipaineistetussa rakennuksessa sisäilma pyrkii rakenteisiin aiheuttaen samalla niiden kostumisen. (Leivo 1998, 17-19)

2.3 Muut sisäympäristötekijät

2.3.1 Valaistus

Valaistuksella on suuri vaikutus sisäilmaston kokemiseen. Hyvään sisävalaistukseen kuuluu oikea valon laatu ja määrä ja häikäisyn estäminen. Hyvän valaistuksen tunnusmerkkejä ovat sen värien toistavuus, muodostuminen useasta valonlähteestä, muunneltavuus, tiloihin sopivuus, värisemättömyys, edullisuus ja soveltavuus, turvallisuus ja terveellisyys kaikille ikäryhmille. Valaistuksen puutteet aiheuttavat tilojen käyttäjille oireilua ja epäviihtyvyyden tunnetta kuten muutkin sisäilmastotekijät.

Valolla on erityinen merkitys ihmisen vireystilaan. Valon määrän ja värilämpötilan on todettu vaikuttavan ihmisen hormonitoiminnassa melatoniinin tuotantoon. Pimeässä melatoniinin erityis lisääntyy. Melatoniini vaikuttaa ihmiseen rauhoittavasti, jopa unettavasti. Voimakas valkoinen valo sopiikin työympäristön valaisemiseen, kun taas heikko kellanpunainen valo edesauttaa ihmisen elimistöä virittäytymään levon tilaan. Tätä noudattaen valaistus pyritään suunnittelemaan tilan käyttötarkoituksen mukaan.

Valaistuksen voimakkuus, kontrasti ja häikäisevyys vaikuttavat näkökykyyn. Huonoissa valaistusolosuhteissa silmät rasittuvat ja keskittymiskyky heikkenee. Nopeat valomäärien vaihtelut, häikäisy, voimakkaat kontrastit ja katseluetäisyyden tiheä vaihtelu aiheuttavat oireita silmissä ja muun muassa päänsärkyä. Valaistuksen suunnittelu on haasteellista varsinkin, jos tilojen käyttäjillä on suuri ikähajonta. Mitä enemmän valoa on tarjolla, sitä pienempi on ero iästä johtuvan valon määrän säätämiseksi. Valontarve voi vaihdella myös silmäsairauksien vuoksi. Valaistuksen säätömahdollisuudella pystytään vaikuttamaan siihen, että tilan käyttäjät saavat itselleen sopivan määrän valoa.

Luonnonvalon saanti on ihmiselle erittäin tärkeä. Rakentamismääräyskokoelman mukaan ikkunan valoaukon on oltava vähintään 10 % huonealasta. Kuitenkin huomioiden, että liiallinen suora auringonvalo saattaa heikentää erityisesti työtilojen valaistusolosuhteita.

Toimistojen valaistuksessa tulisi ottaa huomioon valaistuksen riittävyys suoritettavaan työtehtävään, luonnonvalon säädeltävyys, väri- ja valoisuuskontrastien minimointi työpisteessä, valaisimien häikäisevyyden ja heijastavuuden minimointi ja työpisteen valaistuksen säädeltävyys. (SIT 63-610044, 2007)

2.3.2 Ääniolosuhteet

Ääniolosuhteet vaikuttavat ihmisten viihtymiseen sisällä. Pienikin liiallinen äänitaso rasittaa ihmistä aluksi viihtyvyshaitan muodossa, jatkuvana ollessaan aiheuttaen erilaisia oireita. Ulkoa tai muualta rakennuksesta ei saa tulla asuntoon tai muihin tiloihin häiritsevää ääntä tai melua. Muun muassa ulkoa tuleva liikenteen melu voi häiritä. Seinä- ja ikkunarakenteilla voidaan parantaa ulkoa tulevien äänien eristävyttä osittain. Sisäseiniä ja lattian rakenneratkaisuilla voidaan vaikuttaa talon sisällä kantautuvien äänien vaimentamiseen.

Häiritsevän melun lähteenä voivat olla myös rakennuksen tekniset laitteistot, kuten vesijohdot, viemärit ja ilmanvaihtolaitteet. Suunnitteluvaiheessa määritellään laitteille asetettavat vaatimukset. Teknisten laitteistojen ääntä pystytään eristämään asennusvaiheessa tehtävillä lisäeristyksillä. Ilmanvaihtolaitteistoa joudutaan usein käyttämään ilmanvaihdon riittävyyden kannalta liian pienellä nopeudella meluhaitan vuoksi. (LVI 05-10417, 2007, Valvira 2016.)

3 SISÄILMASTOA KOSKEVAN LAINSÄÄDÄNNÖN KEHITTÄMINEN

Rakennusten terveydellisistä oloista on säädetty maankäyttö- ja rakennuslaissa, terveys-
densuojelulaissa ja työturvallisuuslaissa sekä lakien nojalla annetuissa asetuksissa ja
määräyksissä ja näitä selventävissä ohjeissa.

Rakennuslaissa on jo vuonna 1958 otettu kantaa siihen, että rakennuksen pitää täyttää
terveellisuuden vaatimukset. Mikäli katsottiin, että rakennus ei täytä terveellisuuden vaa-
timusta, voitiin se määrätä joko korjattavaksi tai purettavaksi. Rakennuspaikan tuli olla
terveellinen ja rakentamiseen tuli käyttää vain terveydelle vaarattomia aineita. Tänä päi-
vänä kuitenkin tiedetään jo, että vuosien varrella on rakentamisessa käytetty aineita,
jotka ovat terveydelle haitallisia. Tällaisista esimerkkinä voidaan mainita muun muassa
asbesti, jonka käyttö kiellettiin vuonna 1994.

Helmikuussa 2018 on voimaan tullut ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen
sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Sen mukaan rakennusta suunnitellessa on otettava
huomioon sisäiset kuormitustekijät, ulkoiset kuormitustekijät, sijainti ja rakennuspaikka.
Sisäisiä kuormitustekijöitä ovat lämpö- ja kosteuskuormitus, laitteet, valaistus, henkilö-
kuormat, melulähteet, rakennustuotteiden päästöt ja muut rakennuksen käyttöön liittyvät
epäpuhtaudet. Ulkoiset kuormitustekijät puolestaan ovat sää- ja ääniolot, ulkoilman laatu
ja muut ympäristötekijät. Asetusta voidaan soveltaa myös osittain korjattaviin rakennuk-
siin. (Ympäristöministeriö 2018.)

3.1 Suunnittelu

3.1.1 Sisäilmaston laadun tavoitteen asettaminen

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta
pykälässä 5 todetaan, ettei sisäilmassa saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin
hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä
viihtyvyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja.

Sisäilmaston laadun tavoite asetetaan jo rakennushankkeen hankesuunnitteluvai-
heessa. Hankeohjelman keskeisten tilatyyppeiden sisäilmastoluokkien määrittely tehdään

yhdessä suunnittelijoiden kanssa, jotta voidaan suunnitella tarvittavat toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi. Rakennustöiden suunnittelua varten valitaan rakennustöiden ja ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokka sekä rakennusmateriaalien valintaa varten rakennusmateriaalien päästöluokka. Yksittäisissä rakennushankkeissa suunnittelijoiden tulee esittää ratkaisut, joilla rakennuttajan valitsemaan sisäilmastotavoitteisiin päästään.

Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus on julkaistu ensimmäisen kerran vuonna 1995. Sitä on päivitetty vuosina 2001 ja 2008. Viimeisin päivitys on ympäristöministeriön asetusta seurannut RT-ohje ”Sisäilmastoluokitus 2018”, joka korvaa aiemmin ilmestyneen ”Sisäilmastoluokitus 2008” -ohjekortin. Sisäilmastoluokitus ei ole viranomaisohje tai sellaisen tulkinta, vaan ohje on tarkoitettu rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden avuksi aikaansaamaan entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokituksen on tarkoitus täydentää olemassa olevia Suomen rakentamismääräyksiä, rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia, RT- ja LVI-ohjekortteja ja muita rakentamiseen liittyviä asiakirjoja. Sisäilmaluokituksen noudattaminen muuttuu sopimusosapuolia sitovaksi siinä muodossa, kun niihin sopimusasiakirjoissa viitataan. (RT 07-11299, 2018)



Kuva 3. Sisäilmastoluokituksen rakenne (Sisäilmastoluokitus 2018).

Sisäilmastoluokituksen 2018 mukaan sisäympäristön tavoitearvoihin pyrkimisen ohjaus jaetaan sekä suunnittelu- ja toteutusohjeisiin että rakennustuotteiden vaatimuksiin (kuva 3). Suunnittelua varten on ohjeita rakennus- ja rakennesuunnittelulle, talotekniikan suunnittelulle, rakennustöiden ja ilmanvaihtolaitoksen puhtausluokituksille. Rakennustoille on esitetty vaatimuksia erityisesti kosteudenhallintaa varten. Rakennustuotteiden

vaatimukset keskittyvät rakennusmateriaalien päästökriteereihin. Ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokitus on jaettu yleisiin vaatimuksiin ja tuoteryhmäkohtaisiin vaatimuksiin.

Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen. Laatuluokat ovat S1, S2 ja S3. On huomattava, että luokkien tavoitearvojen alittuminen voi aiheuttaa oireita herkille ihmisille. Toisaalta tavoitearvojen ylittyminen ei nykytietämyksen mukaan merkitse välitöntä terveysvaaraa. Tämän ohjekortin avulla on parannusta sisäilman laatuun saatu aikaan merkittävästi muun muassa rakennusmateriaalien emissioiden suhteen

S1-luokka viittaa yksilölliseen sisäilmastoon, jonka laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Tiloissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät, niissä ei esiinny vetoa tai ylikämmenemistä. Tilan käyttäjä pystyy hallitsemaan lämpöoloja ja valaistusoloja yksilöllisesti. Myös ääniolosuhteet ovat erittäin hyvät.

S2-luokka koskee hyvää sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu on tällaisissa tiloissa hyvä eikä häiritseviä hajuja esiinny. Tiloissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät eikä vetoa esiinny. Kesällä tilojen ylikämmeneminen on mahdollista. Tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistussuhteet.

S3-luokka tarkoittaa tyydyttävää sisäilmastoa. Tilan sisäilmasto täyttää sekä maankäyttö- ja rakennuslain että terveydensuojelulain vähimmäisvaatimukset. (RT 07-11299, 2018)

3.1.2 Pätevyysvaatimukset

FCG:n vuonna 2013 tekemässä selvityksessä vain noin kolmasosa vastaajista oli sitä mieltä, että suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimukset olivat sopivalla tasolla. Suomen kuntaliiton kyselyn tulosten perusteella ehdotuksena oli suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimusten täsmentäminen. (Ympäristöministeriö 2014.)

Maankäyttö- ja rakennuslakia on vuonna 2014 päivitetty rakennushankkeeseen ryhtyvän huolehtimisvelvollisuuden osalta. Rakennushankkeeseen ryhtyvä huolehtii siitä, että rakennushankkeessa on kelpoisuusvaatimukset täyttävät suunnittelijat ja työnjohtajat ja että muillakin rakennushankkeessa toimivilla on asiantuntemus ja ammattitaito tehtävien vaatimalla tasolla. (MRL 5.2.1999/132, 119 §)

Rakentamista koskevia suunnitelmia ovat rakennussuunnitelma, joka sisältää asema-piirroksen, pohja-, leikkaus ja julkisivupiirroksen sekä erityissuunnitelmat, jotka sisältävät muut tarpeelliset piirustukset, laskelmat ja selvitykset. Suunnitelmat on laadittava rakentamista koskevien säännöksiin ja määräysten mukaisesti hyvän rakennustavan vaatimukset täyttäen. (MRL 5.2.1999/132, 120 §)

Rakennushankkeessa on oltava pääsuunnittelija, joka vastaa suunnittelun kokonaisuudesta ja laadusta. Pääsuunnittelija huolehtii rakennushankkeen ajan siitä, että rakennussuunnitelma ja erityissuunnitelmat muodostavat kokonaisuuden täyttäen rakentamista koskevien säännösten, määräysten ja hyvän rakennustavan vaatimukset. Rakennussuunnittelija vastaa rakentamisen suunnittelusta. Hän huolehtii itse, että hänellä on suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot ja että rakennussuunnitelma täyttää rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä hyvän rakennustavan vaatimukset. Sama pätee maankäyttö- ja rakennuslain 120 c §:ssä mainittuun erityissuunnittelijaan. Mikäli erityissuunnittelijoita on useita, on rakennushankkeeseen ryhtyvän nimettävä yhden heistä vastaamaan kyseisen erityisalan kokonaisuudesta. Vastaava erityissuunnittelija huolehtii, että laaditut suunnitelmat muodostavat toimivan kokonaisuuden.

Valtioneuvosto on antanut vuonna 2015 asetuksen 214 koskien rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä. Asetus koskee sekä uuden rakennuksen rakentamisen että korjaus ja muutostyötä koskevaa suunnittelua. Suunnittelutehtävät on jaettu eri vaativuusluokkiin: vaativiin, tavanomaisiin ja vähäisiin suunnittelutehtäviin. Vaativuusluokka määräytyy suunnittelutehtävän arkkitehtonisten, toiminnallisten ja teknisten vaatimusten mukaan. Vaativuusluokkaan vaikuttaa myös rakennuksen ja tilojen käyttötarkoitus, rakennuksen terveellisyys ja energiatehokkuuteen liittyvät sekä rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Rakennuksen koko, rakennussuojelu, kuormitukset ja palokuormat, suunnittelu-, laskenta- ja mitoitusmenetelmät, kantavien rakenteiden vaativuus ja ympäristöstä ja rakennuspaikasta aiheutuvat vaatimukset vaikuttavat niin ikään.

Lisäyksenä aikaisempiin suunnittelutehtäviin on määritelty rakennusfysikaalinen suunnittelutehtävä ja kosteusvaurion korjaustyön suunnittelutehtävä. Näiden tehtävien osalta ei ole määritelty vähäistä suunnittelutehtävää, vaan tehtävät ovat joko tavanomaisia, vaativia tai poikkeuksellisen vaativia. Uudiskohteen rakennusfysikaalinen suunnittelu on tavanomainen, kun tekniset ja toiminnalliset vaatimukset ovat tavanomaisia, suunnittelussa voidaan käyttää yleisiä suunnittelu ohjeita ja vakiintuneita ratkaisuja ja rakennuksen ympäristöstä tai rakennuspaikasta ei aiheudu erityisiä vaatimuksia.

Rakennusfysikaalinen korjaus ja muutostyö on tavanomainen, kun tekniset ja toiminnalliset vaatimukset ovat yksinkertaiset ja rakennuksen ympäristöstä, rakennuspaikasta tai rakennuksen käyttötarkoituksesta ei aiheudu rakennusfysikaaliselle suunnittelulle erityisiä vaatimuksia.

Tavanomainen kosteusvaurion korjaus- ja muutostyö on kyseessä, kun kosteus- ja homevauriot ovat selkeästi määritettäviä ja rajattavia ja rakennuksen käyttötarkoituksesta ei aiheudu suunnittelulle erityisiä vaatimuksia.

Poikkeuksellisen vaativa rakennusfysikaalinen suunnittelutehtävä on kyseessä, kun kohteessa on voimakasta rakennusfysikaalista rasitusta, kuten poikkeuksellisen ankara säärasitus, alttius voimakkailla tuulilla tai voimakkaalle viistosateelle. Tällaiset kohteet sijaitsevat meren tai muun suuren vesistön rannikolla tai rakennus sijoitetaan veden päälle joko osittain tai kokonaan. Ylipaineistetut tilat ja erikoisvarastot, joissa on kosteudelle ja lämpötilalle poikkeuksellisia vaatimuksia kuuluvat poikkeuksellisen vaativiin suunnittelutehtäviin, johtuen niiden voimakkaasta rakenteita rasittavasta sisäilmasta. Rakennuksen vedeneristyksen suunnittelun katsotaan olevan poikkeuksellisen vaativaa, kun rakenteet ovat vedenpaineelle alttiina (esimerkiksi yli yhden kerroksen tai yli 4 metrin korkuiset rakenteet) tai kun rakennuksen ulkovaipan monimuotoisuuden vuoksi rakenteessa on runsaasti erityyppisiä liitoksia. Poikkeuksellisen vaativan suunnittelun piiriin kuuluvat myös ääniympäristöltään poikkeukselliset rakennukset. Poikkeuksellisen vaativaa suunnittelua edellytetään myös, kun suunnitellaan rakennusfysikaalisesti ainutkertainen ratkaisu, jolle ei ole valmiita suunnitteluohjeita tai josta ei ole kokemuspäistä tietoa.

Rakennusfysikaalisen korjaus- ja muutostyön tekniset tai toiminnalliset vaatimukset ovat poikkeuksellisen korkeat, kun esimerkiksi rakennuksen meluttomuudelle, värinäkömyydelle, ääneneristävyydelle tai akustiikalle on poikkeuksellisen korkeita vaatimuksia. Poikkeuksellisen korkeat vaatimukset ovat myös, jos rakennuksen käyttötarkoitusta muutetaan rakennusfysiikan kannalta olennaisesti vaativammaksi. Myös suojeltujen rakennusten korjaus- ja muutostyöt ovat poikkeuksellisen vaativia silloin, kun muutostyön kohteena on suojeltu rakenneosa.

Mikäli jo korjatusta kohteesta löytyy aikaisemmasta korjauksesta huolimatta laajoja rakenteiden sisäisiä kosteus- tai homevaurioita tai rakenteiden kosteusfysikaalista toimintaa on varmistettava erityismenetelmillä, kosteusvaurion korjaustyön katsotaan edellyttävän poikkeuksellisen vaativaa suunnittelua. Jos korjattavan rakennuksen käyttötarkoituksesta aiheutuu poikkeuksellisen korkeat vaatimukset sisäilman puhtaudelle tai

lämmön ja kosteuden hallinnalle tai rakenteissa on poikkeuksellisen runsaasti haitta-aineita, vaatii kohde poikkeuksellisen vaativaa suunnittelua. Näiden lisäksi poikkeuksellisen vaativan suunnittelun piiriin kuuluu suojellun rakennuksen kosteusvaurion korjaustyö, joka vaikuttaa suojeltuihin ominaispiirteisiin. (Ympäristöministeriö, YM1/601/2015.)

Ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2015 ohjeen rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuuden määrittämisestä. Tavanomaisen rakennusfysikaalisen ja kosteusvaurion korjauksen suunnittelutehtävän vähimmäisvaatimus on rakennustekniikan tai -tuotannon tai konetekniikan tekniikan tutkinto tai tekniikan kandidaatin tutkinto. Näihin opintoihin on sisältynyt rakennusfysiikkaan sekä rakenne- ja materiaalitekniikkaan liittyviä opintoja vähintään 20 opintopistettä. Opintojen lisäksi rakennusfysikaalisen korjauksen suunnittelija omaa vähintään kolmen vuoden työkokemus rakennusfysikaalisten suunnittelutehtävien avustavista töistä. Korjaus- ja muutostyön suunnittelijalla tulee edellä mainitusta kokeemuksesta olla vähintään vuosi korjaus- ja muutostöiden suunnittelutehtävistä. Vastaavasti tavanomaisen kosteusvaurion korjauksen suunnittelijan työkokemus tulee olla kolme vuotta avustamista korjaussuunnittelutehtävissä, josta vähintään vuosi kosteusvaurion korjaussuunnittelutehtävistä.

Vaativan rakennusfysikaalisen suunnittelutehtävän vähimmäisvaatimus on insinööri (AMK)-tutkinnon tai rakennus- tai konetekniikan insinöörin tutkinnon suorittaminen siten, että opintoihin on sisältynyt rakennusfysiikan, rakenne- ja materiaalitekniikan alan sekä kyseessä olevan rakennusfysiikan alaan liittyviä opintoja 30 opintopistettä. Tämän lisäksi työkokemuksena on kertynyt vähintään neljä vuotta tavanomaisista rakennusfysikaalisista suunnittelutehtävistä ja kaksi vuotta vaativissa suunnittelutehtävissä avustamisesta. Korjaus- ja muutostyön suunnittelijalla tulee edellä mainitusta työkokemuksesta olla vähintään kaksi vuotta korjaus- tai muutostöiden suunnittelutehtävistä. Vastaavasti vaativan kosteusvaurion korjauksen suunnittelijan työkokemuksesta tulee olla neljä vuotta tavanomaisista korjaussuunnittelutehtävistä, josta vähintään kaksi vuotta kosteusvaurion korjaussuunnittelusta, ja lisäksi kahden vuoden kokemus avustamisesta vaativissa suunnittelutehtävissä.

Poikkeuksellisen vaativan rakennusfysikaalisen suunnittelutehtävän vähimmäisvaatimuksena on rakennus- tai muun soveltuvan tekniikan alan insinöörin ylempi AMK-tutkinto ja opintoihin on sisältynyt rakennusfysiikan, rakenne- ja materiaalitekniikan ja kyseessä olevan rakennusfysiikan alaan liittyviä opintoja vähintään 35 opintopistettä. Tämän lisäksi työkokemuksena on kertynyt vähintään kuusi vuotta vaativista rakennusfysikaalisista suunnittelutehtävistä, joihin sisältyy myös kyseessä olevan rakennusfysiikan

alan suunnittelutehtäviä. Kokemus voi sisältää sekä avustamista vaativissa ja poikkeuksellisen vaativissa suunnittelutehtävissä että toimimista vastuullisena suunnittelijana vaativissa suunnittelutehtävissä.

Korjaus- ja muutostyön suunnittelijalla tulee edellä mainitusta työkokemuksesta olla vähintään kolme vuotta korjaus- tai muutostöiden suunnittelutehtävistä. Vastaavasti poikkeuksellisen vaativan kosteusvaurion korjauksen suunnittelijan työkokemus tulee olla vähintään kuuden vuoden ajalta vaativissa korjaussuunnittelutehtävissä. Työkokemus voi sisältää sekä avustamista vaativissa ja poikkeuksellisen vaativissa suunnittelutehtävissä että toimimista vastuullisena suunnittelijana. Edellä mainitusta työkokemuksesta tulee olla vähintään kolme vuotta kosteusvaurion korjaussuunnittelutehtävistä. (Ympäristöministeriö, YM2/601/2015)

3.1.3 Rakennesuunnittelussa huomioitavat tekijät

Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista (465/2014) tuli voimaan 1.9.2014. Rakennuspaikan ja perustamistavan valinnassa sisäilmastoon vaikuttavat muun muassa maaperän laatu ja mahdolliset maaperän epäpuhtaudet, pohjaveden korkeus, aurinko ja varjostukset, vallitsevat tuulensuunnat ja ulkoilman laatu ja ympäristön äänitaso. (Ympäristöministeriö 2014)

Sisäilmaston kannalta huomioon otettavia tekijöitä rakennus- ja rakennesuunnittelussa ovat rakennuspaikan valinta, perustusten soveltuvuus ja vedenpoiston huomioon ottaminen, tilojen sijoittelu, lämmöneristys, ikkunoiden aurinkosuojaus, ilmanpitävyys, ulkoisen kosteuden suojaukset, rakennus- ja sisustusmateriaalit, huollettavuus ja huoltotilat ja siivottavuus. (RT 07-11299, 2018)

Rakennuksen radontekninen suunnittelu

Joulukuussa 2018 tuli voimaan Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoivasta säteilystä. Tätä seuraten radonteknistä suunnittelua varten on julkaistu syyskuussa 2019 RT-ohjekortti, jossa määritellään radonin raja-arvot sisäilmassa ja suunnitteluratkaisut radonin rajoittamiseksi sisäilmasta. Radonturvallisen rakentamisen ensisijaisena tavoitteena on estää radonpitoisen ilman pääsy sisätiloihin. Radonia torjutaan kahdella tavalla: rakenteita tiivistämällä ja asentamalla tuuletusjärjestelmä rakennuksen alapohjaan.

Rakenteiden tiivistämisen onnistumisen edellytyksenä on perustusrakenteiden suunnittelu niin, ettei rakenteissa tapahdu painumien tai routimisen aiheuttamia muodon muutoksia, jotka heikentävät rakenteiden tiiviyyttä. Rakenteiden tiivistämiseen käytetään ohutrappausta ja kumibitumikermiä. Alapohjarakenteen läpi tulevat tekniikkaviennit tiivistetään umpisoluisella saumanauhalla ja elastisella saumausmassalla.

Tuuletusjärjestelmä toteutetaan rakennusvaiheessa rakennuspohjaan asennettavalla imukanavistolla ja vesikatolle johtavalla poistokanavalla. Tuuletusjärjestelmää käytetään sisäilman radonpitoisuuden hallintaan siltä varalta, että perustusrakenteisiin jää ilmavuoja. Imukanavisto suunnitellaan joko rengasmalliseksi tai monihaaraiseksi. Imukanavisto tehdään salaojaputkesta alapohjan salaojituserrokseen. Imukanavistoa seuraa poistokanava, joka tehdään muovisesta viemäriputkesta. Poistokanava viedään vesikatolle saakka ja mikäli kanaviston käytölle tulee tarvetta, poistokanavan päähän laitetaan imuri, joka tehostaa ilman poistumista kanavistosta. Vaikka tuuletusjärjestelmä olisi varustettu imurilla, sen mahdollisuudet alentaa radonpitoisuutta ovat rajalliset.

Rakennuksen perustusratkaisulla on suuri merkitys radonpitoisuuksien hallintaan. Ryömintätilaisissa alapohjaratkaisuissa esiintyy huomattavasti vähemmän radonpitoisuuksien ylityksiä kuin maanvaraisissa rakenteissa. Erityisen vaativia kohteita radontorjuntaa ajatellen ovat maanvastaiset harkkorakenteiset seinät rinne- ja kellaritaloissa ja porrastetuissa lattiarakenteissa. (RT 103123, 2019)

Rakennuksen kosteustekninen toimivuus

Ympäristöministeriö on laatinut asetuksen rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta vuonna 2017 ja tämä on astunut voimaan tammikuussa 2018. Asetus koskee sekä uuden rakennuksen suunnittelua ja rakentamista että olemassa olevan rakennuksen laajennusta, kerrosalaan laskettavan tilan lisäämistä, korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta.

Asetuksen mukaan suunnittelijoiden on suunnittelutyössä huolehdittava siitä, että rakennus, rakenteet ja rakennusosat ovat sisäiset ja ulkoiset kosteusrasitukset huomioon ottaen kosteusteknisesti toimivia koko rakennuksen suunnitellun teknisen käyttöiän. Kosteus ei saa päästä kertymään rakennuksen osiin tai sisäpinnoille aiheuttaen vaurioita rakennukselle ja siten terveystaittaa rakennuksen käyttäjille. Mikäli korjattava rakenne tai rakennus on kosteusteknisesti toimiva, ei kosteustekniseen toimivuuteen tarvitse

tehdä muutoksia. Mikäli korjattava rakenne on kosteustekniseltä toiminnaltaan vaurioitunut, sitä voidaan korjata noudattaen sen rakennusaikaista rakentamistapaa paitsi, jos rakenne tulee todennäköisesti aiheuttamaan terveyshaittaa tai vaurioita rakennuksen kosteustekniselle toimivuudelle. Silloin noudatetaan tätä voimaan tullutta asetusta korjauksen suunnittelussa.

Rakennuksen vaippa tulee suunnitella niin, että rakennuksen rakenteisiin ei pääse kulkeutumaan ulkoa käsin sadevesi, lumi tai jää eikä vesihöyry sisältä. Myös ikkunoiden, ovien tai muiden vaippaan liittyvien rakennusosien tai laitteiden liitoskohdat on suunniteltava tiiviiksi. Rakennuksen vaipan ja sen liitosten tulee muodostaa kokonaisuus, joka estää myös tuulenpaineella pinnoilla kulkeutuvan veden pääsyn rakenteisiin. Niin rakennuksen vaipan liitoksineen kuin myös sisä rakenteiden ilmanpitävyyden ja höyrytiiviiden on oltava sellaiset, että myöskään haitallista vesihöyryn siirtymistä rakenteisiin ei tapahdu. Jos rakenteessa on käytetty ilmansulkua tai höyrynsulkua, on saumojen, reunojen ja läpivientikohtien oltava tiiviitä. Ulkoverhouksen taakse ei saa päästä vettä. Ulkoverhouksen taustan tulee olla tuulettuva, ellei kosteus pääse muutoin poistumaan. Rakenteeseen suunniteltavan tuuletustilan on sijaittava niin, että tuuletustila on kokonaisuudessaan ilman virtausreittinä eikä tuuletustilaan jää suljettuja, tuulettumattomia alueita.

Vesikaton rakenteiden ja liitosten tulee olla tiiviitä ja oikein kallistettuja, jotta vesi saadaan johdetuksi pois vesikatolta. Katemateriaali otetaan huomioon kallistuksia suunniteltaessa. Yläpohjan kerrosten ja katon tuuletuksen on estettävä diffuusiosta tai ilmavirtauksista johtuva kosteuden kertyminen yläpohjarakenteeseen. Jos rakenteessa on käytetty ilmansulkua tai höyrynsulkua, on saumojen, reunojen ja läpivientikohtien oltava tiiviitä.

Kosteudelle alttiiden rakenteiden ja **rakennuspohjan** kuivatusjärjestelmän on oltava toimintavarma koko suunnitellun käyttöiän ajan. Rakennuksen korkeusasemaa suunniteltaessa valinnassa on otettava huomioon rakennuspaikan pinta- ja pohjaveden taso ja tulvariski. Pohjaveden pinta pyritään pitämään riittävällä etäisyydellä rakennuksen alapohjasta salaojittamalla rakennuspohja. Salaojituksella pyritään katkaisemaan myös veden kapillaarinen virtaus pohjasta rakenteisiin. Rakennuksen alla ja rakennuksen vierustäytössä salaojituserroksessa ei saa käyttää humusmaata eikä kosteuden vaikutuksesta hajoavia tai lahoavia orgaanisia aineita eikä rakennusjätettä. Rakennuspohja voidaan jättää salaojittamatta vain siinä tapauksessa, että perustamis- ja pohjaolosuhdeselvitysten perusteella perusmaan vedenläpäisykyky ja pohjaveden korkeus eivät aiheuta

haittaa rakennuksen kosteustekniselle toimivuudelle. Hulevedet johdetaan pois rakennuksen vierestä hulevesijärjestelmän avulla.

Maanvastaisen ulkoseinän rakenteen vedeneristuksen tai vedenpaineen eristuksen pitää pystyä estämään ympäröivän maan kosteuden ja hulevesien tunkeutumisen seinärakenteeseen. Mikäli rakennuksen alapohja on maanvastainen, lattian yläpinnan tulee olla vähintään 0,3 metriä rakennuksen ulkopuolella olevan maanpinnan yläpuolella. Mikäli alapohja tehdään ryömintätilallisena, sen korkeuden on oltava vähintään 0,8 metriä. Ryömintätilaan ei saa kerääntyä vettä ja sen on oltava tuulettuva. Ryömintätilaan on oltava pääsy sen ja sinne sijoitetun laitteiston tarkastamista ja huoltamista varten.

Rakenteellisten ratkaisujen on oltava sellaisia, että mahdolliset **laitteistovuodot** saadaan näkyville mahdollisimman pian. Jos rakennuksen laitteistoihin liittyy vesivuodon mahdollisuus, on ne suunniteltava siten, että ne ovat tarkastettavissa, korjattavissa ja uusittavissa. Laitteistojen putkien, kanavien ja laitteiden pinnoille mahdollisesti tiivistyvä vesi on oltava johdettavissa pois haittaa aiheuttamatta.

Rakennuksen sisällä olevat **märkätilat** tulee eristää siten, että vesi ei valu tai siirry kapillaarivirtauksena ympäröiviin rakenteisiin ja huonetiloihin. Vedeneristys tehdään toistuvasti valuvälle vedelle, roiskevedelle tai pintaan tiivistyvälle vedelle altistuvalla rakenteella. Vedeneristuksen tulee muodostaa kokonaisuus, joka on tiivis kaikilta pinnoiltaan, saumoista, läpivienneistä ja liittymistä. Lattian vedeneristuksen on liitettävä vedenpitävästi seinän vedeneristykseen. Tämän lisäksi märkätilojen rakenteiden on oltava lämmön ja kosteuden kestäviä siinä määrin, etteivät muuttuvat olosuhteet aiheuta rakenteeseen liikettä niin, että vedeneristyskerroksella olisi vaaraa rikkoutua. Märkätilan lattian kaltevuuden tulee edesauttaa veden valumista lattiakaivoon. Vedeneristuksen ja lattiakaivon liitoksen on oltava tiivis. (Ympäristöministeriö, 782/2017)

3.1.4 Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu

Ympäristöministeriön asetuksessa vuonna 2018 uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta pykälässä 8 todetaan, että ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa on huomioitava, että ilmanvaihtojärjestelmän keskeisiä toimintoja voidaan mitata, ohjata ja seurata. Tavoitteeksi asetetaan ilmanvaihtojärjestelmän toimintakuntoisuus suunnitellun käyttöajan ajan. Ilmanvaihtojärjestelmän tulee olla sellainen, että se voidaan

kokonaisuudessaan pysäyttää. Ilmanvaihtojärjestelmä mitoitetaan siten, että oleskelutilojen ulkoilmavirraksi tulee $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden ja koko rakennuksen ulkoilmavirraksi $0,35 (\text{dm}^3/\text{s}) / \text{m}^2$, kuitenkin niin, että asuinhuoneiston ulkoilmavirta on vähintään $18 \text{ dm}^3/\text{s}$. Asuinhuoneistojen tulo- ja poistoilmavirtausta on voitava tehostaa vähintään 30 prosenttia. Ulkoilmaa ei tule ottaa ilmanlaatua heikentävän rakenteen kautta tai ulkoilman laatua pilaavien lähteiden läheisyydestä.

Ilmansuodatuksen taso suunnitellaan sisäilman laadulle asetettujen tavoitteiden perusteella. Ilmanvaihtojärjestelmää valittaessa tulee huomioida järjestelmän riittävyys tarvittavaan tasoon. Jos ilmanvaihtojärjestelmä varustetaan lämmöntalteenotolla, pitää varmistua siitä, ettei sen kautta leviä terveydelle tai viihtyisyydelle haitallisia epäpuhtauksia tai hajuja.

Rakennuksen sisään- ja ulospuhallusvirrat on suunniteltava siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi pääse epäsuhtauksia siirtymään sisäilmaan. Rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta on suunniteltava niin, että ilmanvaihdon toiminnalle olevat edellytykset voidaan varmistaa ja vältetään rakenteissa olevien epäpuhtauksien, radonin ja maaperässä olevien epäpuhtauksien siirtyminen sisäilmaan ja vältetään kosteuden siirtyminen rakenteisiin.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän vastuulla on, että ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat on mitattu ja säädetty, järjestelmän ominaissähköteho määritetty ja ilmanvaihtojärjestelmä toimii suunnitelman mukaisesti ennen rakennuksen käyttöönottoa. (RT RakMK-21752, 2018)

3.3 Rakentaminen

3.3.1 Työn johtaminen

Vuonna 2014 päivitetyn maankäyttö- ja rakennuslain 122 §:n mukaan rakennusluvan alaista rakennustyötä johtaa vastaava työnjohtaja. Lisäksi vastaava työnjohtaja vaaditaan toimenpidelupaa edellyttävässä työssä silloin, kun kohteen turvallisuuteen tai terveellisyyteen liittyvät syyt tai maisema- ja ympäristönäkökohdat sitä edellyttävät. Vastaava työnjohtaja vastaa rakennustyön kokonaisuudesta ja laadusta ja siitä, että rakennustyö tehdään myönnetyn luvan, rakentamista koskevien säännösten ja määräysten

sekä hyvän rakennustavan mukaisesti. Vastaava työnjohtaja huolehtii viranomaisilmoituksista ja tarkastuksista ja tarkastusasiakirjan pitämisestä ajan tasalla rakennustyömaalla. (MRL 5.2.1999/132, 122–122a §)

Käytännössä vastaava työnjohtaja vastaa rakennustyön suorittamisesta sekä tilaajalle että viranomaisille. Vastaavalla työnjohtajalla on keskeinen asema rakentamisen laatuun vaikuttavissa kysymyksissä. Jotta rakennustyö pystytään hoitamaan hyvin ja järjestäytyneesti on vastaavan työnjohtajan oltava asiantunteva ja osaava. Rakennustyön suorittamiseen vaikuttavat myös työskentelymahdollisuudet, työmaan jatkuva johtaminen ja seuraaminen sekä tarvittaessa mahdollisuus turvautua viranomaisiin. Mikäli vastaava työnjohtaja on hankkeen rakennusurakoitsijan palveluksessa, voi rakennushankkeeseen ryhtyvä valita erillisen valvojan hankkeelle. (Ympäristöministeriö, YM5/601/2015)

MRL 122 a §:ssä annetaan rakennusvalvontaviranomaisille mahdollisuus määrätä rakennusluvan lisäksi myös aloituskokouksessa tai erityisestä syystä rakennustyön aikana myös erityisalojen työnjohtajien rakennustyössä mukana olosta. Erityisalan työnjohtaja huolehtii kyseisen erityisalan rakennustyön suorittamisesta myönnetyn luvan, rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä hyvän rakennustavan mukaisesti. (MRL 5.2.1999/132, 122–122a §) Erityisalojen työnjohtajat tarvitaan ainakin vesi- ja viemärlaitteistojen ja ilmanvaihtolaitteiston rakentamisesta, mikäli se on tarpeellista laitteistojen rakentamisen vaativuuden vuoksi.

Rakennushankkeeseen ryhtyvä hakee rakennusvalvontaviranomaiselta vastaavan työnjohtajan hyväksymistä ennen rakennustyön alkua. Erityisalan työnjohtajan hyväksyminen haetaan ennen kyseisen erityisalan rakennustöiden aloittamista. Hakemuksissa selvitetään työnjohtajan kelpoisuus tehtävään koulutusta ja työkokemusta koskevilla todistuksilla tai muulla luotettavalla selvityksellä. Työnjohtotehtävien vaativuusluokista on säädetty MRL 122 b §:ssä. Kelpoisuusvaatimukset eri vaativuusluokkiin on määritelty MRL 122 c §:ssä. Työnjohtajan tehtävät ja vastuu alkavat välittömästi viranomaisen hyväksymisen jälkeen. Rakennustyötä ei saa aloittaa ennen kuin hyväksyntä on tehty.

Rakennusvalvontaviranomaisen on peruutettava hyväksyminen, jos siihen on tehtävien olennaisen laiminlyömisestä johdosta tai muusta syystä syytä. Muulla syyllä voidaan tarkoittaa esimerkiksi ilmennyt osaamattomuutta tai luottamuspulaa. (Ympäristöministeriö, YM5/601/2015)

3.3.2 Rakennustöiden valvonta

MRL 151 §:n mukaan rakennusvalvontaviranomainen voi antaa rakennushankkeeseen ryhtyvälle luvan joko valvoa rakennustyötä itse joko kokonaan tai osittain. Rakennushankkeeseen ryhtyvä toimittaa viranomaisille rakennuttajavalvontaa koskevan valvontasuunnitelman. Suunnitelmasta ilmenevät työnjohtotehtävissä toimivien henkilöiden aikaisempi kokemus vastaavista hankkeista ja tarkastusohjelman sisältö ja tarkastusten tekijät. Lupa voidaan antaa, jos hankkeessa mukana olevien koulutuksen ja kokemuksen perusteella voidaan olettaa, että rakentaminen tapahtuu rakennusluvan mukaisesti noudattaen rakentamista koskevia säännöksiä ja määräyksiä ilman viranomaisvalvontaa. (RT YM2-21642, 2015)

3.3.3 Laadunvarmistusselvitys

Maankäyttö- ja rakennuslain 121 a §:n mukaan rakennusvalvontaviranomainen voi vaatia joko rakennusluvassa tai aloituskokouksen perusteella laadunvarmistusselvitystä niistä toimenpiteistä, joilla hankkeen rakentamisen laatu varmistetaan. Laadunvarmistusselvityksen pyytämiseen päädytään, mikäli ei voida olettaa, että rakentamisessa saavutetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten mukainen lopputulos. Selvitykseen merkitään olennaiset tiedot niistä toimista, joilla tällainen lopputulos saavutetaan. Selvitettyjä menettelyjä on noudatettava rakennustyössä hankkeen aikana.

Laadunvarmistusselvitykseen voidaan vaatia sisällytettäväksi riskianalyysi eli selvitys erityissuunnittelun, rakennustyön ja käytön riskeistä turvallisuuden, terveellisuuden tai pitkäaikaiskestävyyden kannalta. Siihen voidaan vaatia myös rakennustyön tarkastusasiakirja laadunvarmistustoimenpiteineen, rakennuksen kuntotutkimus, selvitys rakennustyön valvonnassa ja rakennustuotteiden valmistuksen tarkastamisessa käytettävistä asiantuntijoista ja rakennusvaihetarkastusten vastuuhenkilöistä. Lisäksi laadunvarmistusselvityksessä voidaan esittää tarjous- ja sopimusvaiheen vaatimukset laadunvarmistuksen osalta, suunnitelmakatselmukset, työmaan laatusuunnitelma, joka sisältää laadunohjaus- ja valvontamenettelyt sekä urakoitsijan sisäiset laadunvalvontatoimenpiteet sekä laadunvarmistamiseksi sovitut katselmukset, mallikatselmukset, vastaanottotarkastukset ja mittaukset. (RT YM2-21642, 2015)

3.3.4 Kosteudenhallintaselvitys- ja suunnitelma

Vuonna 2017 ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta on säädetty rakentamisen aikaisesta kosteudenhallinnasta. Rakennushanketta varten on laadittava sekä kosteudenhallintaselvitys että kosteudenhallintasuunnitelma. Kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta vastaa rakennushankkeeseen ryhtyvä. Kosteudenhallintaselvitykseen tulee sisällyttää hankkeen yleistiedot, kosteudenhallinnan vaatimukset eri vaiheissa, toimenpiteet ja menettelyt, joilla kosteudenhallinta varmistetaan ja kosteudenhallintaa varten varatut henkilöresurssit. (Ympäristöministeriö, 782/2017)

Kosteudenhallintaselvityksen perusteella vastaava työnjohtaja laatii kosteudenhallintasuunnitelman osana työmaan laadunvarmistussuunnitelmaa. Ympäristöministeriön vuonna 2015 laatiman asetuksen rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä 15 § mukaisesti kosteussuunnitelmaan sisällytetään tieto toimenpiteistä, joilla rakennusaineet- ja tuotteet sekä rakennusosat suojataan sään aiheuttamilta tai työmaan olosuhteista johtuvilta haittavaikutuksilta. Suunnitelmaan kirjataan myös miten rakennusosien kosteudensuojaus toteutetaan ja miten rakenteiden kuivuminen varmistetaan. (RT YM2-21642, 2015)

Kosteudenhallintasuunnitelma sisältää näin ollen kosteusriskien kartoituksen, kuivumisaika-arviot, lämmitys-, kuivaus-, suojaus- ja osastointisuunnitelmat, materiaalien ja tarvikkeiden käsittelyn, kastumisen estämissuunnitelman, kuivumisolosuhteiden järjestämisen, kosteudenhallinnan organisointisuunnitelman, kosteudenmittausuunnitelman, päällystämisperusteet, suunnitelmat dokumentoinnista, tiedotuksesta ja valvonnasta. Kosteudenhallintasuunnitelma voidaan laatia esimerkiksi Kuivaketju10-toimintamallin pohjalta.

Kosteudenhallinnasta vastaava henkilö nimetään työmaa- tai vastuualuekohtaisesti. Työmaan kosteudenhallinnan toteuttamisesta, poikkeusolosuhteista ja vesivahingoista tehdään riittävä dokumentointi suhteessa vahingon laajuuteen.

Kosteusriskejä kartoitettaessa kootaan luettelo rakenteista ja materiaaleista, joiden suunnitteluun ja toteutukseen työmaalla saattaa liittyä kosteusteknisiä ongelmia. Näin rakennusvaiheessa työmaajohto voi kiinnittää erityisesti huomiota näiden rakenteiden toteuttamiseen. (RT 07-11299, 2018)

Kuivumisaika-arviot laaditaan rakenteille, jotka päällystetään kosteudelle herkillä materiaaleilla tai hengittämättömillä materiaaleilla, jotka liimataan alustaan kiinni. Rakenteille ilmoitetaan myös kosteusrajat, jolloin päällystäminen voidaan aloittaa. Kuivuminen edellyttää, että ulkovaippa saadaan tiiviiksi ja lämmöt päälle mahdollisimman aikaisin kuitenkin huolehtien riittävästä ilman vaihtuvuudesta. Mikäli rakenteiden kuivumisaika muodostuu suunniteltua toteutusaikataulua pidemmäksi, valitaan ennalta tehty varasuunnitelma aikataulussa pysymiseksi. Kosteuden mittausta varten laaditaan työmaalla ennakkoon kosteudenmittausuunnitelma, josta käy ilmi mittausmenetelmä ja -laitteisto, mittausten aikataulu, laajuus ja tarvittavien mittauspisteiden sijainti. Aikataulussa pysymiseksi kannattaa tehdä varasuunnitelma sen varalta, että rakenteiden kuivuminen kestää arvioitua kauemmin. (Ympäristöministeriö, 782/2017)

Lämmityssuunnitelma laaditaan talvikaudelle rakennuksen rakenteiden ja talotekniikan työmaa-aikaisen jäätyminen estämiseksi. Suojaussuunnitelmaa varten selvitetään ennakolta työsuoritukset, joihin sisältyy työnaikaisten vesivahinkojen riski. Muun muassa runko- ja eristetilojen kastuminen pitää estää. Kuivaussuunnitelma tehdään puolestaan siltä varalta, että työmaan suojaustoimenpiteet pettävät syystä tai toisesta.

Työmaalle saapuvien rakennustarvikkeiden suojaamista helpottaa, kun materiaalivirta on tiedossa ja sen vastaanotto, välivarastointi, suojaus ja siirto kohteeseen suunnitellaan etukäteen. (RT 07-11299, 2018)

3.3.5 Rakennustöiden puhtausluokitus

Rakennusaikaisten pölyjen jääminen rakennukseen aiheuttaa rakennuksen käyttäjille niin terveys- kuin viihtyvyyshaittoja. Rakennusaikaisista pölyistä on pääasiassa säädetty työterveyslainsäädännössä, vaikka työmaa-aikainen pölyn hallinta hyödyttää myös valmiin rakennuksen käyttäjiä. Terveiden kannalta olennaisimpia ovat betonipöly, kivi- ja tiilipöly ja puupöly. Puhdas ja toimiva ilmanvaihto -tutkimushankkeessa havaittiin tavanomaisella rakennustyömaalla suojaamattomien ilmanvaihtokanavien sisäpinnoille kertyvän pölyä n. 1-3 g/m². (Säteri, Pölytön työmaa.) Rakennustöiden puhtausluokituksen tavoitteena on varmistaa, että luovutusvaiheessa tilat ovat puhtaat ja sisäilmaan ei ole siirtynyt rakennusvaiheen epäpuhtauksia.

Rakennustöiden puhtausluokituksessa on varsinaisesti vain yksi luokka, P1. Mikäli kohteessa ei noudateta P1-luokituksen mukaista puhtautta, noudatetaan hyvän

rakentamistavan mukaista käytäntöä. (RT 07-11299, 2018) Mikäli rakennuttaja asettaa tavoitteeksi sisäilmaluokan S1 tai S2, tulee rakennustyöt suorittaa puhtausluokan P1 mukaisesti.

Hienojakoinen kevyt pöly leviää herkästi ilmavirtauksien mukana, mutta on vaikeaa poistaa jälkikäteen. Näin pölyn syntymisen estäminen on tärkeässä asemassa. Työmaalla leijuva pöly kerääntyy helposti esimerkiksi suojaamattomiin rakennusmateriaalivarastoihin, alakaton yläpuolisiin rakenteisiin ja avonaisiin johto- ja sähkökouruihin, josta se myöhemmin pääsee leviämään takaisin sisäilmaan. Rakennusmateriaaleja ja asennettuja laitteita suojaamalla ja säännöllisellä siivouksella voidaan vähentää pölyn kertymistä.

Tärkeimmät menetelmät rakennustyövaiheessa syntyvän pölyn vähentämiseksi ovat pölyämättömien työmenetelmien ja työkalujen valinta, kohdepoiston käyttö pölyävissä työvaiheissa ja pölyä sitovat siivousmenetelmät. Osastointi on tehokas tapa estää pölyn tai muiden hiukkasten leviäminen. Osastoinnissa ilmanvaihdollisesti eristetty tila alipaineistetaan suodattimilla varustetulla alipaineistajalla. Osastointia käytetään muun muassa haitta-aine ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden puruissa. Purkutyövaiheessa on olennaista, että haitta-ainepurun yhteydessä osastointi ja alipaineistus tehdään huolellisesti, jotta haitallisia aineita/kuituja ei vapaudu tiloihin.

Rakennusaikaisten epäpuhtauksien pääseminen sisäilmaan on epätodennäköistä, jos rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu P1-luokan mukaisesti. Pääurakoitsija laatii työmaalle puhtaus suunnitelman, jossa määritellään miten ilmanvaihtokanavat ja kanavaosat voidaan asentaa ja suojata pölyävien työvaiheiden välissä siten, ettei kanaviin pääse pölyä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi osastoimalla ilmastoinnin asennusalueet.

Rakennuksen puhtaus tulee tarkastaa ennen ilmanvaihtokoneiden käynnistämistä toimintatarkastusten tai toimintakokeiden yhteydessä. Ennen ilmanvaihdon päätelaitteiden suojien poistamista tarkistetaan, ettei pinnoilla ole hienojakoista rakennusmateriaalipölyä. Tilojen tulee täyttää puhtausvaatimukset, jotta järjestelmä ei likaannu.

Rakentamisen puhtaudelle asetuista tavoitteista tulee tiedottaa koko rakennushankkeen ajan ja työmaan siisteyden laatua tulee seurata jatkuvasti. Ongelmana käytännön työmailla on vielä nykyisin siisteyttä koskevien ohjeiden noudattamatta jättäminen. Työmaan puhtaus hyödyttää sekä rakentamisvaihetta lisääntyneenä työturvallisuutena ja vähentyneenä materiaalihävikkinä että rakennuksen käyttäjiä paremmalla sisäilmalla. (Säteri, Pölytön työmaa)

3.3.6 Rakennusmateriaalien päästöt

Sosiaali- ja terveysministeriö on päivittänyt Asumisterveysasetuksen vuonna 2015, josta Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto Valvira on julkaissut soveltamisohjeen vuonna 2016. Asetuksen tarkoituksena on selkeyttää rakennusten terveydellisten olosuhteiden arviointia määrittämällä tarkennuksia käytössä olleen asumis- ja terveysohjeen ohje- ja viitearvoihin. Olosuhteiden aiheuttama terveyshaitta arvioidaan kokonaisuutena siten, että huomioon otetaan altistumisen todennäköisyys, toistuvuus ja kesto ja mahdollisuudet välttää altistumiselta tai poistaa haitta.

Rakennustietosäätiö on laatinut yleiset ohjeet rakennusmateriaalien päästöluokituksista. Pyrittäessä pieniin epäpuhtauspitoisuuksiin sisäilmassa voidaan joko alentaa kokonaispäästöjen määrää tai lisätä ilmanvaihtoa. Ensisijaisesti tavoitteeseen tulee pyrkiä käyttämällä vähäpäästöisiä materiaaleja. Vähäpäästöisten rakennusmateriaalien käyttö ei kuitenkaan takaa hyvää sisäilmaa, ilmanvaihdon tulee samanaikaisesti olla riittävä. Päästöluokitus on kolmiportainen siten, että luokka M1 on paras.

Kemialliset epäpuhtaudet

Rakennusmateriaalien kemialliset päästöt ovat uutena korkeimmillaan. Sisäilman kemiallisten tekijöiden mittaus suositellaankin tehtäväksi vasta aikaisintaan puolen vuoden päästä rakennuksen valmistumisen tai laajan, sisäilman laatuun vaikuttavan remontin jälkeen. (Valvira 2016.)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Lähes kaikista rakennusmateriaaleista, myös virheettömistä, vapautuu huoneilmaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli syntyy niin sanottuja VOC-päästöjä. Virheettömien rakennusmateriaalien VOC-päästöt pienenevät yleensä ajan mittaan. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että noin puolet asuntojen VOC-päästöistä aiheutuu rakennusmateriaaleista, toinen puoli aiheutuu muun muassa huonekaluista, tekstiileistä, puhdistusaineista, kosmetiikasta sekä asukkaiden ja kotieläinten aineenvaihdunnasta.

Huoneilmasta mitattaviin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin kuuluvat muun muassa 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli di-isobutyraatti (TXIB), 2-etyyli-1-heksanoli (2-EH), naftaleeni

ja styreeni. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden toimenpiderajana huoneilmassa on $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yksittäisen yhdisteen toimenpideraja on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Käytännössä kokonaispitoisuuden ylittäessä $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on ryhdyttävä toimenpiteisiin. Minkä tahansa yksittäisen haihtuvan orgaanisen yhdisteen määrän ylittäessä $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on yhdisteen haitallisuus ja merkitys sisäilman laatuun selvitettävä. Kosteus- tai homevahingon seurauksena vahingoittuneen rakennusmateriaalin VOC-päästöt kasvavat.

TXIB:n toimenpiderajaksi on säädetty $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. TXIB-pitoisuus voi aiheuttaa erilaisia ärsytysoireita, kuten silmä-, nenä- kurkku- ja iho-oireita. Suomalaisen tutkimuksen mukaan uuden astman riski on kolminkertainen, jos sisäilman TXIB-pitoisuus ylittää $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. TXIB:tä on käytetty aiemmin muovimattojen valmistuksessa viskositeetin alentajana. Nykyään TXIB:tä käytetään muun muassa maaleissa parantamaan niiden maalauttamiskykyä. (Valvira 2016.)

Vastaavanlainen sisäilmaongelmia aiheuttava yhdiste on **2-etyyli-1-heksanoli**, jonka toimenpideraja on myös $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tätä kemiallista yhdistettä käytetään pehmittimien, pinnoitteiden ja liimojen tuotannossa. (Valvira 2016.) Sisäilmaan sitä voi vapautua fta-laattien hajoamistuotteina sekä kosteassa emäksisessä ympäristössä että mikrobiotoinnin seurauksena. 2-etyyli-1-heksanolia haihtuu sisäilmaan myös muovimattoliimojen alkalisen hydrolyysin seurauksena. (RT 18-11245, 2016) Myös vaurioitumattomista PVC-materiaaleista vapautuu pieniä määriä 2-etyyli-1-heksanolia.

Styreeni on erilaisten kestopuuvituotteiden valmistuksessa käytettävä ainesosa. Styreenille on ominaista pistävä makeahko ominaishaju. Rakennuksissa styreeniä käytetään muun muassa eristemateriaalien valmistuksessa (Styrox®), seinä- ja kattoelementeissä ja sisustuksessa esimerkiksi paneeleina, tekokivinä ja lattiamateriaalina. Styreeni ärsyttää sekä silmiä että hengitysteitä. Suuremmat pitoisuudet voivat aiheuttaa lisäksi päänsärkyä, huimausta ja uneliaisuutta. Pitkäaikainen altistuminen styreenille voi aiheuttaa keskushermoston toiminnan häiriöitä. (Pietiläinen 2015, 112) Styreenin toimenpiderajana on $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Styreenipitoisuuden määrittäminen on aiheellista, mikäli sisäilmassa todetaan styreenille tyypillistä hajua. (Valvira 2016.)

PAH-yhdisteet (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) imeytyvät elimistöön sekä hengitysteiden, ruuansulatuskanavan että ihon kautta lisäten syöpäriskiä. Kohonneet PAH-yhdistepitoisuudet sisäilmassa ovat yleensä peräisin kivihiilipikeä eli kreosoottia sisältävistä rakennusmateriaaleista esimerkiksi vesieristeistä. Myös putkien pinnoituksessa on yleisesti käytetty kreosoottitervalla kyllästettyjä rakennuspapereita ja pahveja. (RT 18-

11245, 2016.) **Naftaleeni** on merkittävin kreosootista jo huonelämpötilassa ilmaan haihtuva yhdiste. Naftaleenin toimenpideraja on $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lisäksi on säädetty, ettei huoneilmassa saa esiintyä naftaleeniin viittaavaa hajua. Kreosoottia käytettiin aikoinaan vanhojen ratapölkkyjen kyllästämiseen, joten hajua on tunnistettavissa. (Työterveyslaitos 2016, RT 18-11245, 2016)

Formaldehydi

Formaldehydiä voi vapautua sisäilmaan niin rakennustuotteista, kuten puutuotteista, tekstiileistä, maaleista ja lakoista kuin myös käyttäjien aiheuttamana tupakansavusta ja kosmetiikasta. Liiallinen formaldehydin määrä sisäilmassa aiheuttaa silmien ja ylempien hengitysteiden ärsytystä. Formaldehydin vuosikeskiarvo sisäilmassa ei saa ylittää $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja puolen tunnin mittauksen keskiarvopitoisuus ei saa ylittää $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO:n suositus). Formaldehydin hajukynnys on noin $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mutta ärsytysoireita voi ilmetä jo hyvin pienissä pitoisuuksissakin. (Valvira 2016.)

Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidipitoisuuksia on aiheellista mitata, kun asuintilan tai oleskelutilojen sisäilmaan epäillään kulkeutuvan liikenteen, paikoitusalueen tai kiinteistössä sijaitsevan autotallin pakokaasuja tai hiilimonoksidia tulisijojen tai muiden laitteiden kautta. Riippuen tulisijojen tai muiden lähteiden toiminnasta hiilimonoksidipitoisuus sisäilmassa voi vaihdella paljon. Hiilimonoksidipitoisuuksia mitataan ja tulkitaan aina hetkellisesti, koska korkea hiilimonoksidipitoisuus on hengenvaarallista. (Valvira 2016.)

Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Hengitettävät hiukkaset (PM_{10}) ovat halkaisijaltaan alle $10 \mu\text{m}$. Ne voivat kulkeutua ihmisen ylempiin hengitysteihin, kuten keuhkoputkiin, nenään tai nieluun. Niiden pitoisuus sisäilmassa 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pienhiukkasilla ($\text{PM}_{2,5}$) tarkoitetaan halkaisijaltaan alle $2,5 \mu\text{m}$ olevia hiukkasia. Hengitysilmaan joutuessa tämän kokoiset hiukkaset kulkeutuvat aina keuhkorakkuloihin asti. Pienhiukkasten pitoisuus sisäilmassa saa olla enintään $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sisäilmasta löydettävät hengitettävät ja pienhiukkaset ovat tulevat pääasiassa joko ulkoilmasta sisään tai syntyvät hetkellisesti ihmisen toiminnan aiheuttamana tupakan poltosta, ruoanlaitosta, kynttilöiden ja takkapuiden poltosta ja vaatteiden silittämisestä. (Valvira 2016.)

Kuidut

Kuiduista eniten sisäilmastoa haittaavia ovat teolliset mineraalikuidut ja asbestikuidut. Lainsäädäntöä on uudistettu paljon koskien asbestikartoituksia ja asbestipurkutöitä. Vuonna 2015 ympäristöministeriö on julkaissut lain asbestitöitä koskevista vaatimuksista, ja valtioneuvosto on samana vuonna julkaissut asetuksen asbestityön turvallisuudesta. Vuonna 2016 näiden pohjalta on julkaistu RT-kortteja Asbestikartoituksen tutkimusmenetelmästä, asbestikartoitukseen perustuva purkutyön suunnittelu ja toimenpiteet kiinteistössä ja Tilaajan ohje haitta-ainetutkimuksista.

Asbestikuitujen esiintymistä huonetiloissa ja huoneilmassa mitataan joko ilmanäytteillä tai pintapölynäytteillä huonepinnoilta. Asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä. Huoneilmasta mitattuna toimenpideraja on 0,01 kuitua/cm³. Jos kuitenkin ilmamittauksen asbestikuitujen pitoisuus jää alle 0,01 kuitua/cm³, on ilmapitoisuuden toimenpidepideraja määräävämpi. Joskus huonepinnoilla voi esiintyä yksittäisesti asbestikuituja, vaikka rakennuksessa ei olekaan varsinainen asbestilähdettä. (Valvira 2016.)

Teollisia mineraalikuituja ovat keraamiset kuidut, eristevilla ja lasikuidut. Pääasiassa mineraalikuituja voidaan löytää muista kuin asuinoleskelutiloista esimerkiksi toimistotiloista. Mineraalikuitujen lähteinä toimivat muun muassa ilmanvaihtolaitteistojen rikkoutuneet äänenvaimentimet, vanhentuneet tai rikkoutuneet mineraalikuituiset akustiikkalevyt huonetiloissa sekä avonaiset mineraalivillaeisteet tai lämmöneristekerroksen kautta kulkevat ilmavuodot. Teolliset mineraalikuidut määritellään kahden viikon pölylaskeumasta ja niiden toimenpiderajana on 0,2 kuitua/cm².

Mikrobikasvusto

Monet 2010-luvulla tehdyistä lainsäädännön muutoksista tähtäävät kosteusvaurioiden vähenemiseen ja näin ollen välillisesti myös mikrobikasvustojen vähenemiseen.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa vuonna 2016 mikrobivaurion toimenpiderajana pidetään korjaamatonta kosteusvauriota, joka voidaan todeta näkyvän kosteusvauriojäljen perusteella tai pintakosteusosoittimen tai rakennekosteusmittausten avulla. Toimenpiderajan ylittymisenä voidaan pitää myös homeen hajua ja näkyvää mikrobikasvustoa. Hajua voi esiintyä myös vain ajoittain riippuen mikrobien kasvusta ja aineenvaihdunnasta. Pitkään jatkuneen kosteusrasituksen seurauksena mikrobikasvustoa voi kehittyä rakenteiden sisällä siten, ettei rakennuksen pintarakenteissa ole havaittavissa merkkejä vaurioista.

Epäselvissä tapauksissa aistinvarainen epäily mikrobikasvusta tutkitaan mikrobianalyysin. Jos laimennossarjamenetelmällä viljellyn näytteen home- ja hiivasienten pitoisuus on vähintään 10^4 pmy/g tai aktinomykeettien pitoisuus 3000 pmy/g, voidaan rakennusmateriaalissa katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa. Aktinomykeettejä voidaan arvioida myös niiden indikaattorimerkityksen avulla, mikäli pitoisuus jää alle raja-arvon. Mikäli näytteen bakteeripitoisuus on yli 10^5 pmy/g, se viittaa bakteerikasvuun materiaalissa, mutta arvojen kohoaminen voi johtua myös materiaalin likaantumisesta ja näin pelkästään bakteeripitoisuuden perusteella ei voida tehdä johtopäätöstä materiaalin kosteusvauriosta.

Sienikasvusto materiaalissa viittaa kosteus- ja mikrobivaurioon. Näyte tutkitaan suoramikroskopoiden, mikäli sienipitoisuus on alle määritysrajan tai näytteessä havaitaan vain yksittäisiä pesäkkeitä. On huomattava, että suoramikroskopointi voidaan tehdä luotettavasti vain kovista materiaaleista kuten puu.

Mikrobimittauksia voidaan tehdä myös ilmanäytteiden avulla sisäilmasta. Ilmanäytteistä arvioidaan, ovatko sisäilman mikrobipitoisuudet ja -suvusto tavanomaisia. Arvioinnissa joudutaan huomioimaan lisäksi rakennuksen ikä ja sijainti ja mittauksen ajankohtana ulkoilmassa olevat mikrobipitoisuudet. Vanhoissa puurakenteisissa rakennuksissa käytetyissä luonnon materiaaleissa esiintyy jo luonnostaan paljon mikrobeja. Sisäilmamittauksilla pyritään kuitenkin löytämään epätavanomaisia mikrobilähteitä. Ilmanäytteiden avulla ei voida kuitenkaan todeta luotettavasti rakenteiden sisällä havaitun mikrobikasvun vaikutusta sisäilmaan. Sisäilmanäytteissä voi esiintyä tavanomaisestikin yksittäisiä pesäkkeitä lähes mitä tahansa homesientä. Sisäilmanäytteissä tavallisia sienisukuja ovat Penicillium-, Aspergillus- ja Cladosporium-suvut. Penicillium on yleisimmin ja runsaimmin esiintyvä sienisuku sisäilmassa. Myös Aspergillus-lajeja esiintyy usein. Cladosporium on puolestaan ulkoilman yleisin sienisuku ja sitä voi näin ollen lumettomalla kaudella kulkeutua runsaasti myös sisäilmaan. Harvinaisempia lajikkeita ovat esimerkiksi

Stachybotrys-, Fusarium- ja Chaetomium-lajit ja voidaan katsoa viittaavan kosteusvaurioon yksittäisinäkin pesäkehavaintoina. Arvioitaessa altistumisen todennäköisyyttä joudutaan siis huomioimaan vaurion laajuus ja sijainti, ilmayhteys sisätilaan ja rakennuksen painesuhteet. (Valvira 2016.)

3.3.7 Ilmanvaihtotuotteiden puhtausvaatimukset

Sisäilmaluokitus 2018 määrittelee ilmanvaihtotuotteille puhtausluokan, joka on M1. Mikäli ilmanvaihtotuote on puhtausluokiteltu, se ei saa lisätä terveyden kannalta haitallisia epäpuhtauksia ilmanvaihtojärjestelmässä eikä tuloilmassa, eikä tuottaa tuloilman laatua huonontavaa hajua tai kaasumaisia tai hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Puhtausluokiteltu tuote tulee olla helposti puhdistettavissa. Puhtausluokittelu on olemassa tällä hetkellä tavanomaisella tekniikalla valmistetuille valmiille peltikanaville ja niiden osille, säätö- ja palopelleille, äänenvaimentimille sekä suodattimille. Metallirakenteisille kanaville ei tarvitse tehdä emissiotestejä, vaan niiden haitattomuus voidaan osoittaa öljyjäämien määrityksellä. Tuotteiden sisäpintaan ei saa asentaa tarroja. Muista materiaaleista valmistetuista kanavista mitataan ammoniakki-, formaldehydi-, TVOC- ja hajuvaatimukset rakennusmateriaalien päästöluokituksen edellyttämällä tavalla. (RT 07-11299, 2018)

Uuden rakennuksen sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevan ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 mukaisesti kanavien, kanavaosien ja säätö- ja palopeltien tulee olla puhdistettavissa. Kanavaan asennetut säätö- ja palopellit eivät saa olla kanavien nuohouksen esteenä ja niiden asento on voitava tarkistaa kanavaa avaamatta. Tuotteiden sisäpinnan tulee olla sellainen, ettei se edistä lian kertymistä kanavaan. Ilmastointikanavien tulee täyttää asetuksen 1009/2017 luokan C tiiviysvaatimukset. (RT RakMK-21752, 2018)

Liike-, toimisto-, palvelu- ja asuinrakennuksissa käytetään M1-luokiteltuja ilmansuodattimia. Suodattimesta ei saa käytön aikana irrota mineraalikuituja tuloilmaan, suodattimessa ei myöskään saa käyttää terveydelle haitallisia öljyjä tai torjunta-aineita. Myöskään ilmastointilaitteisiin käytettävistä äänenvaimentimista ei saa päästä ilmaan hiukkasia, kuituja tai muita haitallisia epäpuhtauksia. Täristyskokeessa irtoavien kuitujen määrä on oltava pienempi kuin 10 kpl/m³. Äänenvaimentimien tulee olla puhdistettavissa ja niiden tulee kestää vähintään 10 puhdistuskertaa niille tarkoitettua puhdistusmenetelmää käyttäen. Puhdistuksen jälkeen äänenvaimentimesta ei tule irrota kuituja enempää kuin

0,1 kpl/m³. Äänenvaimentimen läpi virranneen ilman laadun tulee olla hyväksyttävä. (RT 07-11299, 2018)

3.4 Sisäilmasto-ongelmien selvittäminen

Ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2016 oppaan rakennuksen kosteus- ja sisäilma-teknisestä kuntotutkimuksesta. Sisäilmaongelmien ratkaisu edellyttää hyvää kokonaisuuden hallintaa. Tarkastelussa on otettava huomioon sekä kemiallisten että mikrobiologisten altisteiden mahdollisuus kuin myös tilojen käytöstä, fysikaalisista olosuhteista ja ilmanvaihdosta johtuvat tekijät. (Pitkäranta 2016, 5) Sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen on julkaistu vuosina 2015 ja 2016 seuraavia ohjeita: Tilaajan ohje sisäilmaongelmien ratkaisemiseen asunto-osakeyhtiöissä (asunto-osakeyhtiön hallitukselle ja isännöitsijälle), Tilaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittämiseen (kiinteistön omistajille ja isännöitsijöille) ja Päättäjän homeopas (kuntapäättäjille).

3.4.1 Sisäilmaongelmien asiantuntijoiden pätevyysvaatimukset

Kosteusvaurioiden ja sisäilmaa heikentävien puutteiden tunnistaminen edellyttää tutkijalta eri aikakausien tyypillisten rakenneratkaisujen ja materiaalien tuntemista. Vaurioiden syntyyn johtaneiden syiden jäljittäminen edellyttää rakennuksen ja sen osien rakennusfysikaalisen käyttäytymisen ymmärtämistä. Sisäilmaongelmien tutkija tunnistaa sisäilman tyypilliset epäpuhtaudet ja niiden kartoittamiseen käytettävät tutkimusmenetelmät ja osaa suhteuttaa tutkimusten tulokset kohteen rakennusteknisiin havaintoihin. Osataksaan tulkita epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmavaikutuksia tutkijan pitää ymmärtää myös eri ilmanvaihtojärjestelmien toimintaa, rakennuksen painesuhteiden ja vuotoilmareittien merkitystä sisäilman laadulle.

Viime vuosina on kehitetty tutkijoiden pätevyyden yhtenäisen arvioinnin mahdollistavia sertifiointijärjestelmiä. Sosiaali- ja terveysministeriö on määritellyt ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimukset vuonna 2015 asetuksessaan asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista ja ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Ulkopuolisella asiantuntijalla tulee olla tarvittava pätevyys terveyshaittaa aiheuttavien tekijöiden selvittämiseksi luotettavasti ja tarkoituksenmukaisin menetelmin. (RT STM-21645, 2015)

Sisäilmaston kartoitustyötä tekevät sekä rakennusterveysasiantuntijat, sisäilma-asiantuntijat ja kosteusvaurioiden kuntotutkijat. Näiden kaikkien edellä mainittujen asiantuntijoiden tulee tuntea tärkeimmät sisäympäristötekijät ja niiden lähteet, mittaus- ja näytteenottomenetelmät ja epäpuhtauksien toimenpiderajat.

Laajimmat pätevyysvaatimukset ovat **rakennusterveysasiantuntijoilla**, joiden työ painottuu sekä rakenteista että muista tekijöistä aiheutuvien sisäilmasto-ongelmien tutkimiseen ja ratkaisemiseen. Rakennusterveysasiantuntija johtaa sisäilmaongelman selvitysprosessia. Hän tekee yhteenvedon eri kartoituksien avulla saaduista tutkimustuloksista.

Sisäilma-asiantuntija keskittyy sisäympäristön epäpuhtauksien tutkimiseen. Hän pysyy tulkitsemaan mittaustuloksia ja tekemään yhteenvedon saaduista tuloksista sekä osaa raportoida tulokset kirjallisesti ja suullisesti.

Kosteusvaurion kuntotutkija osaa tulkita ja raportoida sekä suullisesti että kirjallisesti sisäympäristöstä saatuja tuloksia kuntotutkimustulosten yhteydessä. Kosteusvaurion kuntotutkijalta edellytetään talonrakennusalan suoritettua tutkintoa. Kaikkien edellä mainittujen kompetenssien tulee myös pystyä hoitamaan tutkimusten tulosten tiedottaminen. (Pitkäranta 2016, 12-13)

3.4.2 Kuntotutkimus

Vuonna 2015 voimaan tulleessa asumisterveysasetuksessa ja Valviran 2016 laatimassa Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa on esitetty viranomaisten hyväksymät menetelmät ja toimintatavat asuntojen terveellisyyden tutkimista varten. Asetus ja ohjeet velvoittavat ainakin terveydensuojeluviranomaisia ja viranomaisten käyttämiä ulkopuolisia asiantuntijoita käyttämään niissä esitettyjä menetelmiä ja toimintatapoja. Toimistotilojen arviointia varten Työterveyslaitos on vuonna 2016 julkaissut Ohjeen työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen ja Koosteen toimistoympäristöjen epäpuhtaustoista, joiden ylittyminen voi viitata sisäilmaongelmiin.

Kuntotutkimuksen yhteydessä tehtävät rakennusfysikaaliset mittaukset voivat olla joko lyhytkestoisia, suuntaa-antavia kertamittauksia tai pitkäkestoisia tallentavia mittauksia. Tyypillisiä pitkäaikaisseurantaa vaativia mittauksia ovat lämpötilan ja suhteellisen ilman kosteuden seuranta, sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ja radonpitoisuuden mittaus ja paine-erojen seuranta. Mittaustulos saattaa poiketa todellisesta pitoisuudesta mittauslaitteen tai -menetelmän, näytteenottotapahtuman tai näytteen analysoinnin aiheuttaman

mittausvirheen takia. Mittauksen luotettavuutta voidaan parantaa rinnakkaisilla mittauksilla tai toistamalla mittaus eri kohdista tai eri ajankohtana. Mittauksia toistamallaakaan ei voida vähentää kalibroimattomasta mittalaitteesta tai säännönmukaisesti väärin tehdystä mittauksesta johtuvaa virhettä. (Pitkäranta 2016, 39-40)

Kuntotutkimuksessa rakenteiden kunto käydään läpi järjestelmällisesti rakennusosittain ja määritellään riskikohdat. Tarvittaessa avataan rakenteita riittävässä laajuudessa. Rakenteiden avaaminen on pääasiallinen tapa selvittää kerroksellisten rakenteiden kuntoa. Usein vaurion syy kyetään määrittämään aistinvaraisesti, mutta tarvittaessa materiaaleista voidaan ottaa myös materiaalinäytteitä.

Kosteusmittausten avulla selvitetään rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Tarkkoja kosteusmittausmenetelmiä ovat näytepala-, porareikä- ja viiltomittausmenetelmä sekä materiaalin kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaus-punnitusmenetelmällä. Kuntotutkimuksessa voidaan kuitenkin käyttää myös vain suuntaa antavia menetelmiä.

Rakenteiden ilmatiiveyttä tutkitaan maaperästä ja rakenteista sisäilmaan kulkeutuvien epäpuhtauksien tai hajujen vuoksi. Ilman virtausta rakennuksessa voidaan tutkia ilman virtausnopeus- ja paine-eromittauksilla, pintalämpötilan muutosmittauksilla ja merkkiainetekniikalla. Ilmavuotopaikkojen sijaintia voidaan arvioida lämpökuvauksen ja merkkiainetutkimuksen avulla.

3.4.3 Epäpuhtauksien ja haitta-aineiden määrittäminen

Sisäilman epäpuhtauksien mittaus ja näytteenotto tulee tehdä ensisijaisesti mitattavan tilan tavanomaista käyttöä vastaavissa oloissa. Tällöin saadaan mittaustulos, joka kuvastaa tilaa käyttävien altistustasoa.

Valviran Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan korjaamaton kosteus- tai lahovaurio, aistinvaraisesti todettu ja tarvittaessa analyysillä varmistettu mikrobikasvusto rakennuksen sisäpinnalla, sisäpuolisessa rakenteessa tai lämmöneristeessä tai sisätilaan kytköksissä olevan tilan mikrobikasvusto ylittää toimenpiderajan. Hajuhavainto on tärkeässä asemassa, kun mikrobikasvustoa yritetään paikantaa. Mikäli näkyvää mikrobikasvustoa ei ole, mikrobikasvua pyritään toteamaan mikrobianalyysin rakennusmateriaaleista otettavilla näytteillä. (Valvira 2016.) Asumisterveysasetuksen 20 §:n mukaan mikrobikasvu todetaan mikrobien kasvatukseen perustuvalla laimennossarja- tai suora-viljelymenetelmällä ja mikroskopoimalla tehdyillä analyysillä. Mikrobiahaitta voidaan todeta

myös pintasivelynäytteen laimennossarjamenetelmällä tehdyllä analyysillä. Jos mikrobihaitta todetaan 6-vaiheimpaktorilla otetusta ilmanäytteestä, on ilman mikrobipitoisuuden lisäksi oltava myös muuta näyttöä toimenpiderajan ylittämisestä. (RT STM-21645, 2015)

Kemiallisten tekijöiden mittaaminen tehdään ilmanvaihdon ollessa osateholla ja ikkunat kiinni. Mittauksessa ja näytteenotossa on käytettävä standardoituja tai muita vastaavia luotettavia menetelmiä. Mittaus- ja näytteenottolaitteet kalibroidaan valmistajan ohjeiden mukaisesti. Näyte tulee ottaa ja analysoida laboratorion ohjeiden ja laadunvarmistusjärjestelmän mukaisesti. Käytetyt näytteenkeräysmenetelmät ilmoitetaan aina mittaus- ja analysointitulosten lausunnossa määritysrajan ja tulkintaperiaatteiden lisäksi. Toimenpiderajan ylittymistä arvioitaessa tehdään myös epävarmuustarkastelu, jossa arvioidaan mittauspaikan ja olosuhteen merkitys tulokseen ja miten edustavana näytettä voidaan pitää kokonaisarvion näkökulmasta. Tarkastuskertomukseen liitetään käytettävien mittareiden, analyysien ja mittaustilanteen epävarmuustarkastelujen tiedot. (Valvira 2016.)

Sisäilman epäpuhtauksia mitatessa tulee huomioida mahdolliset virhelähteet. Kasvukaudella ulkoilman mikrobi-itiöpitoisuudet ovat hyvin korkeat. Tämä saattaa estää poikkeavien mikrobien havaitsemista sisäilmasta. Kemialliset emissiot puolestaan ovat riippuvaisia ilman kosteudesta ja lämpötilasta. Sisäilman VOC-pitoisuudet ovat talviaikana matalampia. (Pitkäranta 2016, 38)

3.4.4 Fysikaalisten olojen mittaukset

Asumisterveysasetuksessa on määritelty fysikaalisten olojen raja-arvoja. Fysikaaliset olot ovat huoneilman kosteus, lämpötila ja ilman virtausnopeus

Huoneilman kosteutta varten ei ole säädetty tarkkaa kosteuden vaihteluväliä. Pääsääntö on, että pitkäkestoisesti kosteus ei saa nousta niin suureksi, että se aiheuttaisi mikrobikasvuston riskiä. Sisäilman kosteutta tulisi arvioida sisätiloissa syntyvän lisäkosteuden suhteena ulkoilman kosteuteen. Mikäli näin saatu kosteuslisä on suurempi kuin $3\text{--}4\text{g/m}^3$, mikrobikasvun riski pinnoilla ja rakenteissa kasvaa. Liian kuiva huoneilma voi aiheuttaa hengitystiesairaille ongelmia, mutta asumisterveysasetuksessa ei ole säädetty alarajaa kuivalle ilmalle.

Huoneilman lämpötilan toimenpidealaraja on $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Yläraja lämmityskaudella on $+26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja lämmityskauden ulkopuolella $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpötilan mittaaminen suoritetaan noin 1,1 metrin korkeudelta. Lämpötilan on oltava sellainen, että se ei aiheuta kosteuden tiivistymistä

rakenteisiin tai niiden pinnoille. Lämpötilalla on merkitystä asuinviihtyvyyden ja lämpötilaan liittyvien terveydellisten tekijöiden kannalta. Lämpötila vaikuttaa myös mahdollisesti kosteuden tiivistymiseen rakenteissa.

Ilmanvaihdon tulee vaihtaa sisäilmaa koko oleskeluvyöhykkeellä. Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa kosteutta ja epäpuhtauksia sisäilmasta ja tuoda puhdasta ilmaa tilalle. Ilmanvaihdon mitoituksen tulee olla riittävä suhteessa tilojen tavanomaiseen käyttöön eikä alueella saa olla tiloja, joissa ilmanvaihto jäisi paikallisesti riittämättömäksi. Asunnon ulkoilmavirran tulee olla 0,35 dm³/s neliometriä kohden kaikissa asuinhuoneissa. Asuntojen ilmankierron suunta on puhtaasta likaiseen päin eli tuloilma johdetaan puhtaisiin tiloihin ja poistoilma johdetaan ulos niin sanottujen likaisten tilojen kautta. Ilmanvaihdon toimivuus testataan merkkisavun tai ilmavirtamäärien mittauksella. Ulkoilmavirrat voidaan helposti mitata tuloilmaventtiileistä. Vertaamalla poistoilmamääriä ulkoilmavirtamääriin nähdään, onko ilmanvaihto tasapainossa.

Kouluissa, päiväkodeissa ja muissa vastaavissa tiloissa ulkoilmavirran tulee olla vähintään 6 dm³/s. Joustonvaraa mitoituksessa on 2 dm³/s alaspäin, mikäli pystytään varmistamaan siitä, ettei alhaisempi ulkoilmavirta aiheuta terveyshaittaa. (Valvira 2016.)

3.4.5 Melumittaukset

Melumittaus tehdään oleskeluvyöhykkeellä. Mittaukset tehdään ulko-ovet, ikkunat ja tuuletusluukut kiinni. Melumittauksessa tulee käyttää tarkkuudeltaan ja toiminnoiltaan luotettavaksi osoitettua, kalibroitua mittauslaitteistoa. Valvira on julkaissut päivä- ja yöajan keskiäänitasojen toimenpiderajat asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa. Asuinhuoneiden päiväajan keskiäänitason toimenpideraja on 35 dB ja yöajan 30 dB, kokoontumis- ja opetushuoneistoissa keskiäänitasot vaihtelevat 35–40 dB ja asiakkaiden vastaanottotiloissa toimenpiderajana on 45 dB. Teknisten laitteiden aiheuttaman melun enimmäistason tulee olla alle 33 dB. Yleinen työmelun pitkän ajan keskimääräinen päivittäinen altistumisraja on 85 dB.

Melun haitallisuutta lisäävät melun impulssimaisuus ja kapeakaistaisuus. Impulssimaisella melulla tarkoitetaan melua, jossa on erotettavissa yksi tai useampia alle sekunnin kestävä voimakas ääni. Kapeakaistaisuudella puolestaan tarkoitetaan melua, jossa on selvästi erottuva soiva, vinkuva, uliseva, sireenimäinen ominaisuus. Melun

impulssimaisuuden vuoksi toimenpiderajaa korjataan impulssin laadun mukaan 5...10 dB ja kapeakaistaisuuden vuoksi 3...6 dB.

Kuulovaurioiden välttämiseksi annetun toimenpiderajan ylittyessä terveydensuojeluviranomainen voi vaatia yleisön altistamisen rajoittamista esimerkiksi äänen voimakkuutta alentamalla, lisäämällä yleisön etäisyyttä kaiuttimiin tai kaiuttimien suuntaus. (Valvira 2016.)

4 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Sisäilmasto tarkoittaa huonetilassa olevien ihmisten hyvinvointiin vaikuttavien fysikaalisten, kemiallisten ja mikrobiologisten olosuhteiden kokonaisuutta. Fysikaaliset olot tarkoittavat huoneilman kosteutta, lämpötilaa, ilmanvaihtoa, melua ja valaistusta. Kemialliset puolestaan tarkoittavat muun muassa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, formaldehydiä, hiilimonoksidia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia.

Sisäilmaston muodostuminen hyväksi on monimuotoinen yhtälö, jossa sisäilman epäpuhtauksia minimoidaan rakenneratkaisujen valinnalla ja laadukkaalla rakentamisella, jonka aikana vältetään rakenteiden ja rakennusmateriaalien kosteusvaurioita. Tämä yhdistetään ilmastoinnin, lämpöolojen ja valaistuksen mitoittamiseen siten, että sisäilma tuntuu miellyttävälle tilojen käyttäjältä.

Terveellisessä sisäilmassa ei esiinny raja-arvoja ylittäviä määriä materiaalipäästöjä, rakennuksessa ei ole kosteusvaurioita ja niiden sisäilmaan epäpuhtauksia tuottavia mikrobeja, rakennuksen radonpoistosta on huolehdittu ja rakenteet ovat riittävän tiiviit, jotta ulkoilmasta tai alapohjasta ei pääse kulkeutumaan sisäilmaan epäpuhtauksia. Hyvässä sisäilmassa vallitsevat miellyttävät lämpöolot, huonetilassa ei ole vetoisuuden tuntua ja riittävästä ilman vaihdosta on huolehdittu.

Tekesin Terve talo -kriteeristön mukaisella rakentamisella on pyritty jo muutaman vuosikymmenen ajan kosteuteen liittyvien riskien minimointiin ja korkeampaan sisäilmaston laatuun. 2010-luvulla laadittu rakennuslainsäädäntö lähenee nyt monelta osin Terve talo -kriteeristöä.

Maankäyttö- ja rakennuslain uudistus on ajoitettu valmistuvaksi vuonna 2021. Sisäilmaa koskevan lainsäädännön saamista aukottomaksi vaikeuttaa vastuiden jakautuminen kahden ministeriön, ympäristö- ja sosiaali- ja terveysministeriön, alueille. Eduskunnan vuonna 2013 esittämään vaatimukseen rakennusten terveellisyyden ja laadun parantamisesta on vastattu kehittämällä lainsäädännössä seuraavia osa-alueita: suunnittelijoiden kelpoisuusvaatimusten kiristäminen, rakennusfysikaalisten suunnitelmien vaatimusluokkien määrittely, vastaavan työnjohtajan kelpoisuusvaatimuksien kiristäminen, rakennushankkeesta laadittavien suunnitelmien ja selvitysten vaatimukset muun muassa laadunvarmistusselvitys, kosteudenhallintaselvitys ja -suunnitelma, rakennuksen

kosteustekninen toimivuuden suunnittelu, radontekninen suunnittelu ja ilmastoinnin suunnittelu.

Sosiaali- ja terveysministeriö on päivittänyt lainsäädäntöä ja asetuksia sisäilman laadun, sisäilmamittausten ja raja-arvojen osalta asumisterveysasetuksessa. Myös kuntotutkijoiden pätevyysvaatimuksia on kiristetty ja kuntotutkimuksien sisältöä ja menetelmiä on tarkennettu ja yhdenmukaistettu. Sisäilman laadullisiin vaatimuksiin liittyvien asetusten tekeminen ei ole yksiselitteistä. Sisäilmaongelmien tutkimisen ja ratkaisujen löytämisen vaikeudesta kertoo tutkijakentän erimielisyydet. Tutkijat ovat erimielisiä muuan muassa mikrobien aineenvaihduntatuotteiden vaikuttavista mekanismeista ja sisäilmaan emittoituvien yhdisteiden vaikutuksista. Esimerkiksi syksyllä 2016 Terve talo -seminaarissa Aalto-yliopiston professori Mirja Salkinoja-Salonen toi esille hapettomassa tilassa kipsilevyistä muodostuvan rikkivedyn, jota löytyi monista tutkituista sisäilmakohteista. Rikkivetyä ei kuitenkaan mainita vielä tätä työtä varten kartoitetuissa materiaaleissa.

Rakennusvalvonnan osuus annettujen laadunvarmistuskeinojen käyttämisessä on ilmeinen. Rakennusvalvonnalla on mahdollisuus jo rakennuslupavaiheessa vaatia esimerkiksi laadunvarmistusselvitystä ja laadunvarmistussuunnitelmaa, jonka osana ovat kosteudenhallintasuunnitelma ja pölynhallintasuunnitelma. Rakennusvalvonta myös tarkastaa ja hyväksyy vastaavan työnjohtajan pätevyyden sopivuuden hankkeen vaatimusluokkaan ja sen mukaiseen kelpoisuusvaatimukseen.

Aikaisempaa kireämmillä pätevyysvaatimuksilla on tavoiteltu rakentamisen laatuongelmien ratkeamista. Suunnitteilla on ollut jopa valtakunnallinen pätevyyden toteamisjärjestelmä suunnittelijoiden ja työnjohdon kelpoisuuden arviointia varten. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan laadusta suoraan vastuussa on ainoastaan vastaava työnjohtaja. Vastaava työnjohtaja on siis avainasemassa, kun laadun tasoa pyritään nostamaan.

Rakennushankkeeseen ryhtyvillä on erilaiset valmiudet selviytyä hankkeen teknisistä ja laadullisista haasteista. Näin suunnitteilla oleva vastuun siirtäminen hankkeeseen ryhtyvältä rakentajalle lienee järkevää.

Suomessa on pitkään korjattu kosteusvaurioita vain tiivistys- ja pintaremonteilla. Tämä on onneksi korjaantumassa pikkuhiljaa, kun on ymmärretty, että vain perusteellinen korjaus auttaa rakennusten käyttäjien oireisiin. Auki jää kysymys rakennuskentän heterogeenisyyden yhdenmukaistamisesta suhteessa laatukysymyksiin. Säädettyillä lainuudistuksilla Suomen rakennusoloissa suomalainen rakennuskulttuuri on muutoksen edessä. Vastuu laadun hallinnasta rakennustyön aikana jää vastaavan työnjohtajan harteille ja

uusien lakien noudattaminen on vastaavan työnjohtajan moraalinen ja kunnan rakennusvalvonnan panostuksen lopputulos. Käynnissä on uudistus, josta muun muassa kosteuden hallinnan osalta säänsuojaus tulee nostamaan rakentamisen kustannuksia. Kustannukset puolestaan tulevat tilaajan maksettavaksi, joten jää nähtäväksi miten säädettyjä lakeja ja asetuksia tullaan soveltamaan käytännössä.

Eri asteisista vaikeuksista huolimatta lainsäädännön suunta on oikea. Lainuudistuksen pääpaino on projektin alkupuolella, laaditulla lainsäädännöllä pyritään nyt erilaisin toimin ennalta ehkäisemään kosteusvaurioiden syntyä tai vaurioituneiden materiaalien käyttöä rakennustarvikkeina. Tärkeää olisi vielä vaikuttaa siihen, millaisia dokumentteja rakennushankkeesta tuotetaan tai miten suunnitelmien noudattamisen seuranta toteutetaan. Maankäyttö- ja rakennuslain 150 f §:ssä vaadittu tarkastusasiakirja on jo vakiintunut käytäntöön, mutta sen mahdollisuuksia ei osata ehkä vielä hyödyntää täysipainoisesti. Rakennushankkeista tuotettavan dokumentoinnin kautta pystyttäisiin vaikuttamaan myös rakentamisen lain mukaiseen hallintaan.

LÄHTEET

Leivo, V. 1998. Kosteus ja home rakennuksissa. Julkaisussa V. Leivo (toim.) Opas kosteusongelmiin. Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Julkaisu 95. Talonrakennustekniikka. Rakennustekniikan osasto. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

LVI 05-10417. 2007. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Pietiläinen, Rauni (toim.), Työterveyslaitos. 2005. Kemikaalit ja työ. Vammala: Vammalan kirjapaino oy.

Pitkäranta, Miia. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Pitkäranta, Miia – Puhka, Ari. 2013. Kvantitatiivinen PCR sisäilman mikrobiologisen laadun arvioinnissa. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto.

Ratu 82-0383. 2011. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 07-11299. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018, Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluhjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 14-10775. 2003. Sisäilman ammoniakkipitoisuuden määrittäminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 14-10776. 2003. Pintojen ammoniakkiemissioiden määrittäminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.)

RT 18-11217. 2016. Sisäilmasto-ongelman selvittäminen. Tilaajan ohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 18-11245. 2016. Haitta-ainetutkimus, Rakennustuotteet ja rakenteet. Ohjeet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 18-11246. 2016. Asbesti rakentamisessa. Ohjekortti. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 103123. 2019. Radonin torjunta. Ohjekortti. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 103124. 2019. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Suomen säädöskokoelma 796/2017. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT RakMK-21752. 2018. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Suomen säädöskokoelma 1009/2017. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT RakMK-21749. 2018. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Suomen säädöskokoelma 782/2017. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT STM-21645. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksesta. Suomen säädöskokoelma 545/2015. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT YM2-21642. 2015. Ympäristöministeriön ohje rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä. YM3/601/2015. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Helsingin Espoon ja Vantaan Terveelliset tilat. Saatavilla www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Katsaus-mikrobeihin

Säteri, Jorma. Pölytön työmaa – työntekijän ja rakennuksen käyttäjän etu.

Valvira, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 1 Asumisterveysasetus § 1-10. Helsinki: Valvira.

Valvira, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa 3. Helsinki: Valvira.

Valvira, Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa 4 Mikrobiologiset olot. Helsinki: Valvira.

Ympäristöministeriö. 2014. Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2014. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Ympäristöministeriö. 2014. Suomen ympäristö 1/2014. Arviointi maankäyttö- ja rakennuslain toimivuudesta 2013. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2015. Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuus luokista, YM1/601/2015. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2015. Ympäristöministeriön ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta. YM2/601/2015. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2015. Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta. YM5/601/2015. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 782/2017. Helsinki: Ympäristöministeriö.